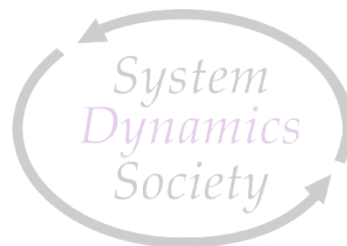
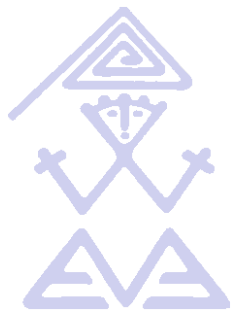


La Dinámica de Sistemas para la efectiva toma de decisiones y análisis estratégico de problemas

MEMORIAS



Los trabajos que se presentan a continuación dan muestra de la fuerte consolidación que viene ganando la Dinámica de Sistemas en Latinoamérica como herramienta para solución efectiva de problemas y toma de decisiones acertada e integral.

Noviembre 17, 18 y 19 de 2010.
Medellín – Colombia

© Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana

**La Dinámica de sistemas para la efectiva toma de decisiones y análisis estratégico de problemas.
Memorias del 8° Congreso Latinoamericano y Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, 2010**

ISBN: 978-958-696-874-4

Primera edición, 2011

Escuela de Ingenierías

Facultad de Telecomunicaciones e Informática

Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Mons. Luis Fernando Rodríguez Velásquez

Vicerrector Académico: Jorge Iván Ramírez Aguirre

Editor: Juan José García Posada

Compilador: Sandra María López Muriel

Corrector: Uriel Hidalgo Giraldo

Diagramación: Danny Alexander Quintero Posso

Coordinadora de producción: Ana Milena Gómez Correa

Dirección editorial:

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2011

Email: editorial@upb.edu.co

www.upb.edu.co

Telefax: (57) (4) 354 4565

A.A. 56006 / Medellín-Colombia

Radicado: 0805-18-11-10

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

TABLA DE CONTENIDO

1. Counter-Intuitive Policy Against Cocaine Cartels	7
2. Modelo de Dinámica de Sistemas para la toma de decisiones en la inversión pública municipal. Un enfoque sistémico	15
3. La investigación en la Universidad de los Andes como procesos de acumulación de capital humano: una aproximación desde la Dinámica de Sistemas	24
4. Modelo de regionalización para el manejo sostenible de los residuos sólidos municipales	31
5. Marco de gestión del desempeño y riesgo desde la perspectiva del capital intelectual para apoyar la toma de decisiones	38
6. Prácticas y aprendizajes con la Dinámica de Sistemas en la escuela Colombiana	44
7. Sistemas de Inferencia Difusa en el Modelado con Conocimiento Aproximado	54
8. Enseñanza del concepto de función a partir de la modelación matemática	61
9. Los especialistas y la integración de la DS en la escuela -una propuesta de aprendizaje colaborativo-	69
10. Estudio de la planeación y desarrollo del proceso de formación profesional integral desde el enfoque del pensamiento sistémico	77
11. Efecto de las políticas de ampliación de cobertura de la educación superior Colombiana. Una perspectiva desde la Dinámica de Sistemas	83
12. Dinámica de Sistemas, argumentación y representación del conocimiento como apoyo en clubes de matemáticas	92
13. Calificaciones, dinámica del estudiante	99
14. Assessment Methodology For Models Of Business Dynamics	106
15. A camino largo, paso corto: la noción de realimentación en Dinámica de Sistemas	113
16. Sinergias entre pensamiento sistémico y pensamiento de diseño	119
17. Análisis estructural: un apoyo para el modelado con Dinámica de Sistemas	126
18. Hacia una metodología de la investigación sistémica	137
19. Self-Organizing Market Structures, System Dynamics, And Urn Theory	144
20. Juego empresarial para la enseñanza de inventarios con demanda variable	151
21. En busca de la utopía: plasmando un ideal que puede ser real	155
22. Modelo del Mercado Inmobiliario - CABA.	166
23. Mercado del azúcar en Colombia	176
24. Propuesta de un modelo de simulación de ganadería intensiva bovina	185

25. Simulación de la cadena de abastecimiento de una empresa de producción y distribución de baterías eléctricas	194
26. Modelo de Dinámica de Sistemas para evaluar el impacto de la ampliación de un proceso productivo de una panificadora	198
27. Impacto de la rotación de personal en las entregas a los clientes: un enfoque sistémico	202
28. Finanzas, colaboración y "efecto látigo" en la cadena de abastecimiento: una aproximación a través de la Dinámica de Sistemas	208
29. Perspectiva de gestión de tecnología en redes logísticas	214
30. Metodologías de análisis para modelos de desarrollo rural	222
31. Envejecimiento poblacional y salud: análisis del impacto en las finanzas públicas a través de Dinámica de Sistemas	228
32. Capital intelectual, una aproximación a su valoración desde la Dinámica de Sistemas	238
33. Acercamiento desde el enfoque sistémico a la problemática de seguridad alimentaria en la ciudad de Medellín: políticas para la superación	244
34. Efectos de la disponibilidad de alimentos sobre la seguridad alimentaria nacional	254
35. Aplicación de la DS en la problemática de tenencia de tierras en Colombia, para la evaluación de políticas de distribución de tierra	262
36. La evaluación de políticas de emprendimiento como solución a la pobreza en Medellín. Acercamiento desde la Dinámica de Sistemas	272
37. Simulaciones de crecimiento económico colombiano con Dinámica de Sistemas	280
38. Tiendas de conveniencia en Bogotá al 2030: modelación de factores que determinan su crecimiento	290
39. Modelo de sostenibilidad económica para parcelas de seis a treinta hectáreas en piso térmico frío	299
40. Mecanismo para la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala	305
41. Modelo macroeconómico, institucional y sustentable, basado en Dinámica de Sistemas para la economía colombiana - borrador	315
42. Enfoque sistémico de la dinámica del VIH aplicado al caso colombiano	322
43. Análisis de las salas de cirugía a partir de un modelo de Dinámica de Sistemas	328
44. Análisis de la atención en urgencias a partir de un modelo de Dinámica de Sistemas	333
45. Programación de una rutina de dieta alimenticia y ejercicio físico monitoreado aplicando Dinámica de Sistemas	346
46. La Integración Eléctrica SIEPAC – CAN	354
47. Manejo del control de tensión por medio de generación distribuida en el sistema de potencia colombiano	362
48. Modelo de evaluación de esquemas de integración de mercados eléctricos	372
49. Modelo financiero aplicado a una generadora térmica de gas	379

50. Una aproximación a los requerimientos de energía firme para el sistema eléctrico Colombiano	388
51. Análisis sistémico del mercado de carbono de la unión europea y sus implicaciones en el sector eléctrico	393
52. Precio de la electricidad en Colombia una aproximación desde la Dinámica de Sistemas	403
53. Modelo de Dinámica de Sistemas para las hierbas orgánicas - la manzanilla	409
54. Modelo de producción de palma de aceite	417
55. Dinámica de la penetración de tecnologías alternativas para vehículos automotores y su impacto en las concentraciones de carbono atmosférico	423
56. Tecnologías de captura y almacenamiento de CO2: Penetración y decisión de adopción, un análisis con Dinámica de Sistemas	432
57. Análisis de la producción de biocombustibles en Colombia	442
58. Dinámica de Sistemas aplicada a la triada: población, generación de residuos y calidad ambiental. Una perspectiva que integra: la Dinámica de Sistemas y los sistemas dinámicos	453
59. Aplicación de la metodología sistémica para elaborar y mantener un cuadro de mando integral dinámico (Dynamic Balanced Scorecard) - MSDBSC - EM: una experiencia peruana	461
60. Método cuantitativo en la gestión del conocimiento	479
61. Enfoque de Dinámica de Sistemas para el análisis de patrones de diseño para sitios web y la multiculturalidad	491
62. Análisis del MDITVDi para adultos mayores utilizando Dinámica de Sistemas	498

GESTIÓN Y POLÍTICA PÚBLICA

Counter-Intuitive Policy Against Cocaine Cartels

Políticas erróneas en contra de los carteles de la coca

Sebastián Jaén, PhD (c), Isaac Dyner, PhD
Universidad Nacional de Colombia
jsjaenp@unal.edu.co, idyner@unal.edu.co

Abstract - The coca farming dynamics seems to partially follow the patterns of a long war against organized crime in Colombia. Since the early 80s, the cocaine market in the US and the rest of the world has been mainly supplied by Colombian cartels. Consequently, these illegal organizations have been targeted by Colombian and American law enforcement agencies. Our work argues that such policy has had a counter-intuitive effect which contributes to increases coca farming and reductions in cocaine prices. This paper hypothesizes that such situation was the consequence of the way that drug cartels were dismantled – thus the Colombian paradox. The consequences of the war against cartels may be assessed with the support of a dynamic theoretical framework and SD. Effective policy may consider alternative actions before dismantling drug cartels.

Keywords - Illegal monopolies, cocaine market, law enforcement, simulation.

1. INTRODUCTION

The history of the world cocaine market, especially of the American market, has been tightly associated with the most renowned Colombian cartels during the last two decades. In the most recent years this association has been mainly with the guerrillas and paramilitary forces.

Most scholars in the field have focused their research exclusively on business costs, some on the associated business risk, and a small number on the industry's structure. Abundant literature addresses the American and Sicilian mafia cases (e.g., Rottemberg [1], Reuter [2], Fiorentini and Peltzman [3], and Fiorentini [4])¹ but the literature on the Latin American organized crime and specifically on Colombia is still limited.

Until 1993, the Peruvian and Bolivian farmers were the main coca farmers while this was just a marginal illicit crop in Colombia [5]. The Colombian cocaine boom started during the early 90s and “developed

complex organizations which, in many cases, operated autonomously” [6]. It has been acknowledged that the Colombian drug trafficking activity “coincided with an accelerated demand-rise in the US, which started an unusual process of accumulation of enormous amounts of money in the hands of the few involved in this activity” [7]. Two big cartels were conformed (Medellin and Cali) and many other small ones operated across Colombian and Central America [6].

The growth and expansion of these criminal groups coincide with increases in homicide rates in Colombia. Continuous increases in violence and a terrorist threat shocked Colombians who become aware of their long connivance with the fast enrichment of illegal actors. Society and government reacted and got support from the US in terms of military training and technology [8].

In 1992-93 most members of the Medellín cartel were in jail or dead. The Colombian government then went ahead to fight the Cali cartel. In the mid 90s the two main members of the Cali cartel were taken to prison but immediately “the Norte del Valle cartel incorporated the Cali cartel's routes and social networks” [9].

The Cali cartel played an important role as mediator between guerrillas and paramilitaries² [10]. Once this cartel was dismantled, small traffickers were co-opted by paramilitary groups who by 1996 had already controlled many remote and central regions in Colombia. The association that was established between traffickers and paramilitaries increase their possibilities for bribing and buying firearms but created frictions among them for market control. The guerrilla forces got also involved in the cocaine business. Given the rural nature of these groups, it is not an oddity that the new cartels' focused on coca leaf production, gaining considerably knowledge to improve both profits and crops.

¹ Additional literature is also relevant; however, authors consider that referenced books are the most relevant and compiled works within the pursued research line.

² Paramilitaries or self defence forces began as response against guerrillas' extortion and theft during the early 80s. Not all their members can be associated to drug traffickers, in they beginning, many of them were rich countryside ranchers or big land owners dedicated to cattle industry [10].

There were unexpected consequences in the war against cocaine trafficking. We developed a model aiming to evaluate and assess alternative policies against cartels, evaluating a dismantling strategy policy which could focus on either cartel leaders, or cartel members.

The paper is organized as follows: section two shows the evolution of coca crops and it argues that growth might be partially explain by the policy of dismantling big cartels. Section three indicates the cocaine supply chain and the role played by organized crime. Section four shows the model which let us evaluate former dismantling policies and infer about alternative dismantling strategies and their consequences. Section five discusses validation issues and conclusions.

2. THE EVOLUTION OF COCA FARMING

Colombia has experienced two outbreaks of coca farming during the last twenty years. Figure 1, depicts the series of coca-leaf farming by two different sources (UNODC and INCRS). The first outbreak starts in the early 80s subsequently heavily increasing the number of coca crops during almost ten years. After five years of apparent stagnation (1991-1995), in the mid 90s, coca farming reaches high levels until eradication policies reverts this tendency by 2000.

Stagnation period does not seem to be explained by any special eradication policy during those years as indicated in Figure 2. An event that coincides with the stagnation period, perhaps the only one³ directly linked to illicit drug trade, is the dismantling of the Medellin and Cali cartels⁴.

What happened during the period that the Medellin and Cali cartels were being dismantled (1991-1995)? As expected: stagnation, moderate fall, and initial slow recovery in coca farming. But following the dismantling of the Cali cartel (soon after the disappearance of the Medellin Cartel) something that seemed unexpected happened: a new outbreak

occurred. Note that the patterns of coca farming are not very far from those that are crime related as the total inmates in Colombian prisons (Figure 2), and the Colombian homicide ratios (Figure 3) – there are though some differences in lags and tendency.

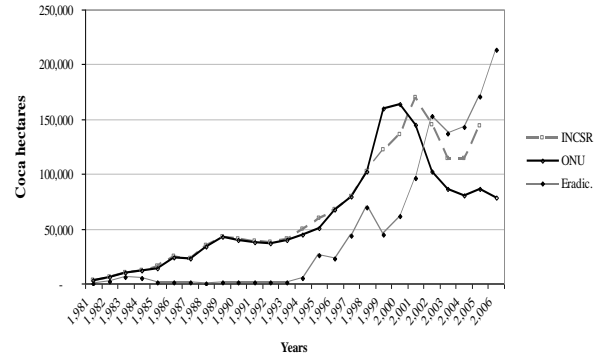


Figure 1. Coca farming and eradication. Sources: UNOCD and INCSR several years.

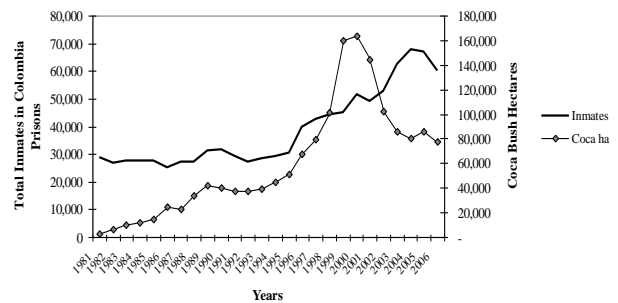


Figure 2. Coca Bush Hectares and Prison Population. Source: UNOCD, 2007, 2002; and INPEC5 stats.

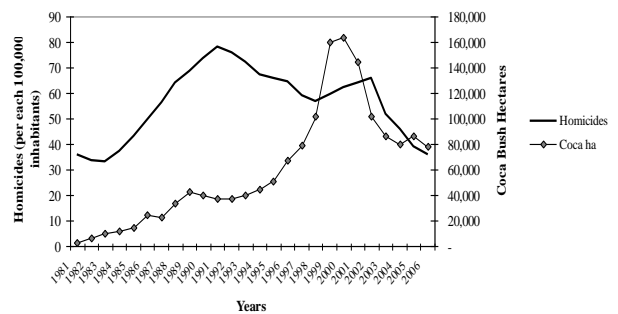


Figure 3. Colombian homicide ratios versus coca hectares. Source: Policia Nacional and UNOCD.

³ World Drug Report [11] shows an important leap in the Colombian poppy crops hectares by 1994, from 5,008 hectares in 1993, poppy crops reaches 15,091 hectares by 1994. But by 1995, poppy crops hectares come back to its usual margin of 5,216 hectares, reaching no more than 7,350 hectares during the next eleven years. There is no enough evidence that allows point out those sudden poppy crops increase did move illegal farmers from coca leaf crops to poppy crops. Both sources of coca crops signal a moderate increase during the 93-94 lap.

⁴ Medellín cartel's head was dead finishing 1993. Cali cartel main members were in prison in 1995.

An important number of Colombian scholars in the field (e.g. [7]; [5], [6]; [10]) argue that the cartel dismantling policy gave way to a new generation of criminals. They indicate that the fall of the cartels

⁵ In spanish: Instituto Nacional Penitenciario de Colombia, National Penitentiary Institut from Colombia

promoted the surge of many small gangs, which were poor (and atomized) compared with the big cartels, vulnerable to police forces and other traffickers. What Colombian and foreign scholars do not acknowledge is that such a break-up into smaller divisions is the consequence of a cartel dismantling policy and the way that such cartels were dismantled. In other words, the fight against big criminal structures have contributed to split these into a number of smaller units, bringing more people into this illegal industry given that such policy have destroyed the costly entry barriers to this unlawful business.

Figure 4, depicts the Buchanan’s Defense of organized crime theory. The horizontal axis represents the resources devoted to law enforcement while the vertical axis the resources used by criminal activity. The C curve represents the criminal response to law enforcement; Z is the initial equilibrium under a criminal monopoly; Cm represents the supply curve (criminal response) under monopolistic activities and Zm a new equilibrium. Buchanan [12] states:

“Monopoly in the sale of ordinary goods and services is socially inefficient because it restricts output or supply. The monopolist uses restriction as the means to increase market price which, in turn, provides a possible source of monopoly profit. This elementary argument provides the foundation for collective or governmental efforts to enforce competition. If monopoly in the supply of “goods” is socially undesirable, monopoly in the supply of “bads” should be socially desirable, precisely because of the output restriction.” (p. 119).

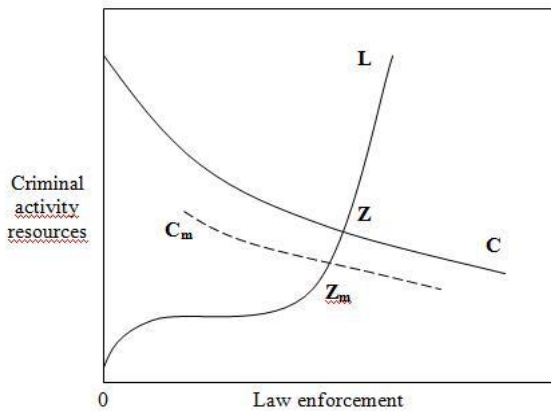


Figure 4. Criminal monopolies. Source: Buchanan [12].

When law enforcement focuses on monopolies, fragmentation and competition emerges. Figure 5, shows the monopoly equilibrium between price and quantity, PM and QM respectively. A cartel

dismantling policy would change the curve’s slope to a less inclined trajectory, and a new market equilibrium is reached at price PF and quantity QF (F denotes a fragmented industry).

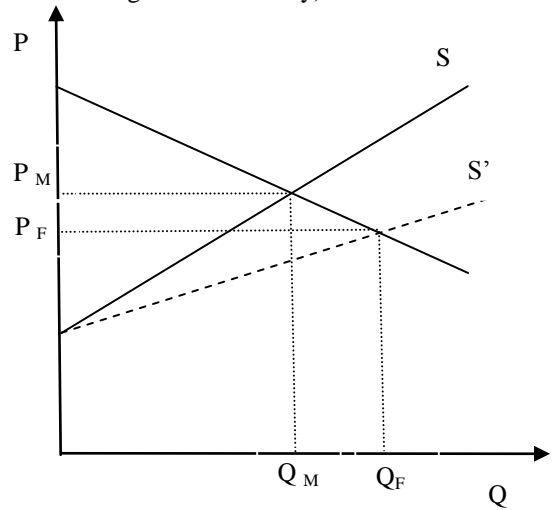


Figure 5. Drug price and supply after a cartel dismantling policy.

3. A CONCENTRATE INDUSTRY

During the early days (about 1980s) the Colombian cocaine industry was characterized by its high degree of concentration and integration ([13], [5]). Coca base was imported from Bolivia or Peru, processed in remote laboratories and exported mainly to the US. Those activities were very expensive as there was a need to supplying remote laboratories with coca leaves and then transport cocaine powder by fast boats and airplanes to clandestine and legal airstrips and docks in the US.

During the period 1980-1995 cartels dominated cocaine trafficking as they dominated the available routes; only very few defy the big risk associated with the transportation business from South America to the US ([13]). There was a natural network monopoly where routes are fiercely owned and protected. Several route owners would generate negative externalities as the activity would turn more visible to the authorities - the best route is the safest one. Thus there exist several economic barriers in order to become a big route owner.

During the 80s and 90s coca prices declined: “It is difficult to account for the continued sharp decline until 1989 and the more modest declines in the 1990s”, when supply and consumption seem to be constant [14]. However, as Figure 6 depicts, Colombian wholesale prices shows a modest increase at 1990s beginning, which coincides with the mai

Colombian cartels strategies for monopolizing the criminal drug industry.

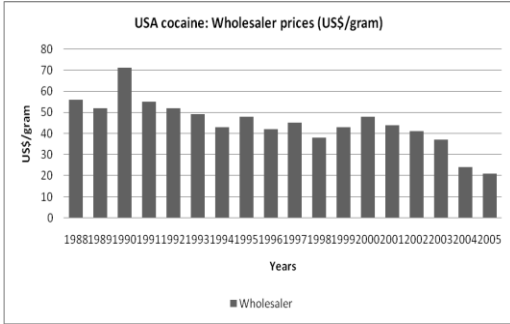


Figure 6. USA cocaine: Retailer and Wholesaler prices. Source Washington Office on Latin America (2004).

As cartels are broken into many small units along the production-distribution chain, the new units incorporate agents coming from the former cartels as well as newcomers into the business. Thus, it is possible to infer that a big firm dismantling policy would bring an interesting dynamic to the industry. This issue is discussed ahead and it is incorporated into our model structure.

4. ILLEGAL FIRM SYSTEM AND DISMANTLING POLICY

4.1. ILLEGAL FIRM: BASIC STRUCTURE

The head of an illegal firm has under his command several functional areas and a large number of members. There is a well-defined barrier between members and heads. The Heads of the firm establishes a monopolistic and economic barrier (identified as the variable promotion barriers in the causal-loop diagram, Figure 7) which obstruct members to easily reach the Heads level. The monopolistic barrier works by force. Economic barriers influence the Capacity to hire, which establishes a well defined hierarchical structure.

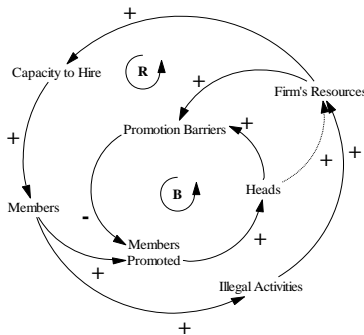


Figure 7. Criminal firm's basic causal-loop.

The model assumes that the illegal firm might reach its maximum capacity to generate funds depending on its illegal workforce. Several authors as Fiorentini and Peltzman [5], Krauthausen [13] and Thoumi [14], remark the main role of illegal firm size. Illegal firms need to establish their adequate size in order to gain strength, but at the same time, seeks to avoid insubordination.

Figure 8, indicates that illegal firms outsource some services (i.e. coca production, drug supply to end-customer and information services). In some cases as gangs grow very big rather than outsourcing these activities will include firm's divisions. However as previously discussed monopolist (cartels) have no incentives for market increase given the risky possibilities to filter information or loose operations control [13]. Our model suggests criminal firm enrolls the basic structure to conduct illegal task. Certain amount of people did not hire tray to preserve links with firm supplying criminal services rivaling with other outsource firms. Such rivaling brings a criminal services price decrease which brings economic benefits for firm.

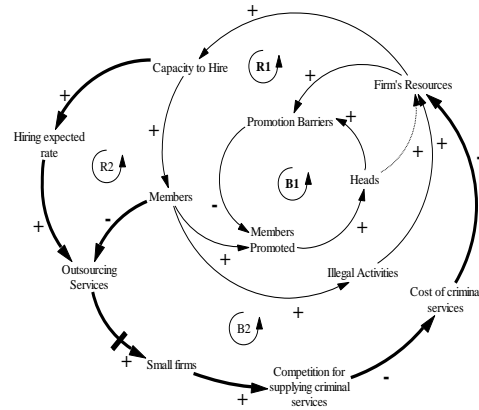


Figure 8. Illegal workforce and criminal services.

4.2. SIMULATION OF CASE-BASE SCENARIO

The simulation of the base-case scenario shows the evolution of the firm's initial configuration. Figure 9, draws a situation in which Firm's heads start raising: (i) hiring enough members and (ii) When firm reaches a determined size, out workforce establishes local suppliers of either coca base, or criminal services (iii). Low level suppliers can have its own reinforced increase given that it is at least a profitable activity with low barriers to entry. Firm's operations profitability (iv) would reach its maximum score (about 50% [15]), given the firm place into the market. As Outsourcing Services increases coca crops farming (v) increases as well.

Model establishes there exist a period of time in which variables' growth is more accelerated according to conformation phase. After this one stage, growth becomes slower given that firm starts to display its monopolizing efforts for controlling market.

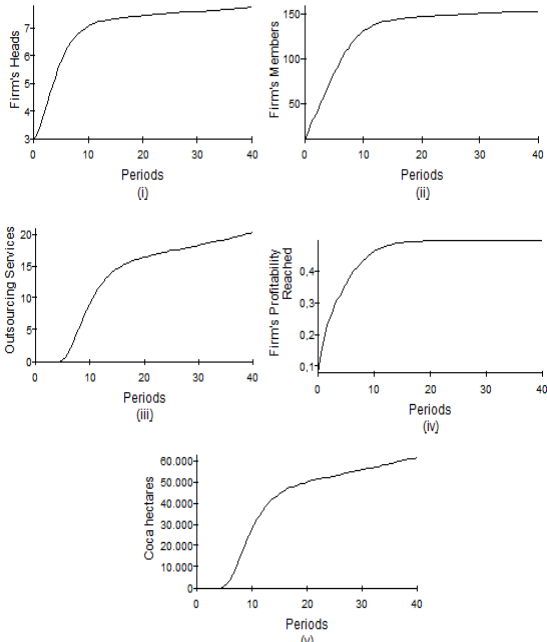


Figure 9. Base simulation: Firm initial configuration.

4.3. CARTEL DISMANTLING POLICY

The first big Colombian criminal organization dismantled was the Medellin cartel. A bloody and long war against such group lasted almost ten years (1984-93) until efforts of Colombian and American law enforcement agencies⁶ killed or imprisoned all cartel members. Our model replicates this policy using a probability of capture which triggers exit flows for both criminal categories (i.e. Heads and Members). Model assumes total impunity until policy is implemented as a switch function (period 15). Figure 9, depicts the stocks and flow structure of law enforcement against cartels. To model such policy, law enforcement initially succeeds by eroding the firm's members and later striking bosses after some delay.

Figure 10, shows two trajectories: Number one (1) indicates the base-case scenario and number two (2) indicates the dismantling policy. Members and heads fall. Cartel resources fall as well as firm lacks its

operative capacity. However, many of the low level criminal services (outsource services) take charge at lower costs, due to competition. As law enforcement persists members and heads disappear as well as profitability (iv).

A very interesting issue is that as outsourcing increases (iii) new entrants are needed due firm dismantling and hiring expectations. As firm dismantling policy prevails, avoiding recruitment, workforce migrates to smaller gangs that act as outsourcing firms of criminal services.

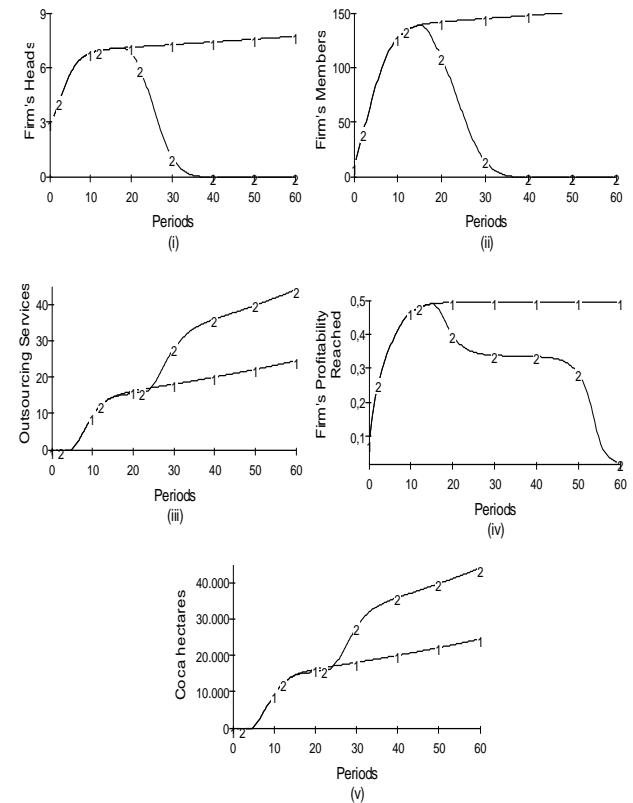


Figure 10. Similar policy to Medellin Cartel's dismantling policy.

The new small firms fiercely rival among themselves to gain power as observed after the disappearance of the Medellin and Cali cartels. The attack on the Cali cartel was apparently successful as by 1995 their main head members were imprisoned (Duncan, [16]; Thoumi [13]). This was not a long and bloody war against this criminal group, simply the heads of the cartel disappear (only heads) as they were taken to prison. Figure 11, illustrates the policy's impact: (i) heads fall, and (ii) members fall (had to look elsewhere for jobs). Members thus migrate away or establish their own firms. Such outbreak of new small firms renders criminal services at a very low cost.

⁶ Unofficial information argues the connivance and information support of illegal rival firms.

Thoumi [15] describes very well the members' migration from big cartels (the most integrated) to small firms - small cartels or "cartelitos" (Duncan, [10]). Simulations show similar migration (Figure 11 (iii)). Next section discusses initial model evaluation and validation.

A tentative policy actually does not implemented would be focus law enforcement only on members as oppose as Cali cartel strategy which it was dismantled mainly in their heads. Figure 12, shows three main trajectories. The first one is the simulation of base-case. Second one, law enforcement against firm's members and heads, and third one, an exploratory policy of law enforcement on members only.

Short run results (until period 30) seem to reveal a promising behavior: Firm members decrease, Outsourcing Services level is lesser than base-case, and firm's profit shows a sharply fall. But after period 30, model turns such apparent beneficial behavior. Feed-back structure explains what it means. Absence of members encourages a high hiring rate. Hiring expected rate increases considerably because firm's heads need workforce to manage their activities. However, a persistent law enforcement policy against members decreases them until such point in which firm's profitability decreases avoiding affording both the workforce fees and hiring capacity. Hiring expected rate starts to decrease carrying workforce to outsourcing services. Competence among outsourcing rival firms allows a cost decrease and low barriers to enter. In this way, model generates new heads.

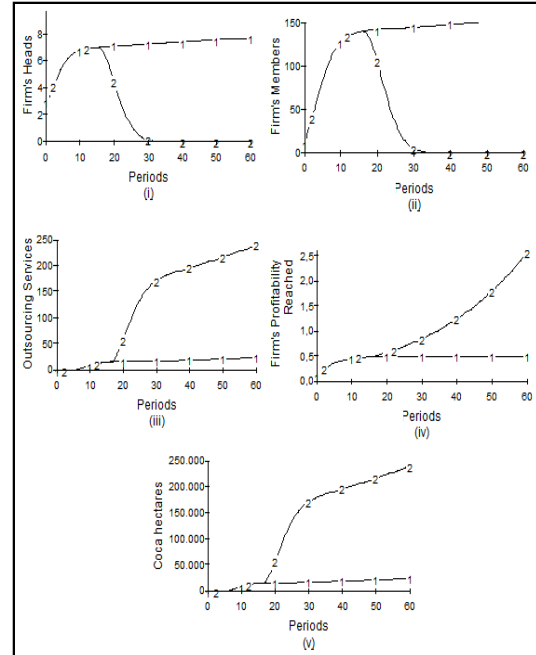


Figure 11. Similar policy to Cali Cartel's dismantling policy.

5. FINAL CONSIDERATIONS AND CONCLUSIONS

The purpose of the model is to explore the dynamics of criminal organizations and to assess alternative policy, aiming to reduce their impact on society. As observed, in general terms, the model reproduces the developed theoretical framework. However, is there a statistical evidence for this?

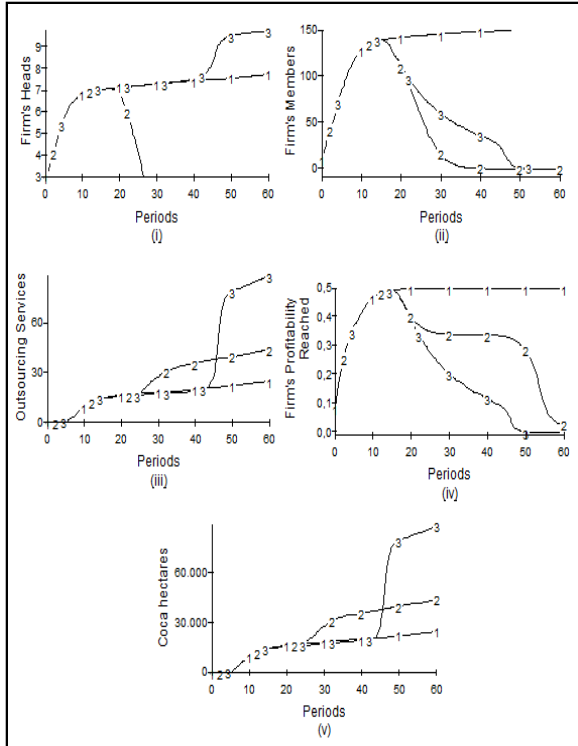


Figure 12. Law enforcement focused on members only.

Figures 13 and 14, show simulation results and reported coca plantations (hectares) during two important periods across the war against cartels. Both model results and real data show similar patterns: constant increase at the beginning and few periods of stagnation followed by several years of accelerated increase.

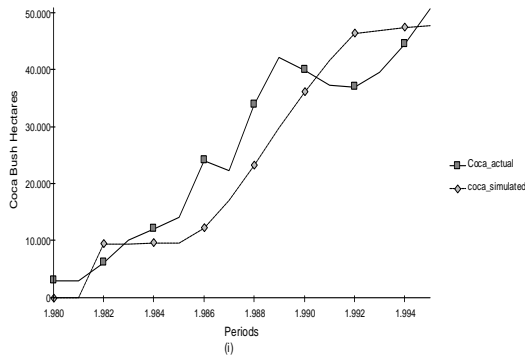


Figure 13. Simulated number of possible farmers and coca hectares stats until under Medellin cartel dismantling.

Analysing model under Cali cartel dismantling policy, we can see some basic coincidences (Figure 14). Both model and real data have some similar paths of behaviour: constant increase at the beginning

and few periods of stagnation followed by several years of accelerated increase.

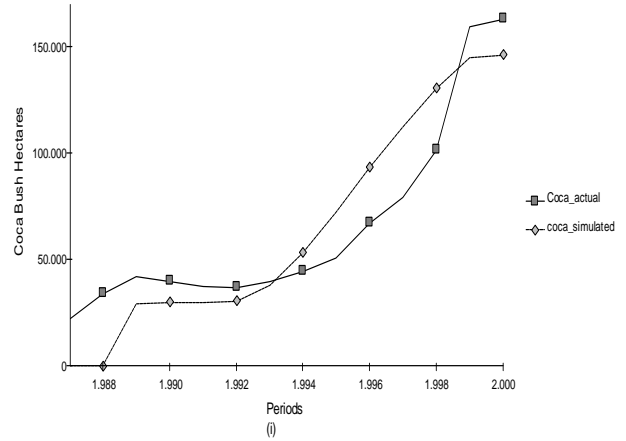


Figure 14. Simulated number of possible farmers and coca hectares stats until under Medellin cartel dismantling.

Although it is not enough for arguing that model is completely valid, at least we got confidence that our hypothesis would have sense and further research seems a promising task. Preliminary prototype gives us useful elements and cues in order to consider a more elaborated model. We need to consider if more model detail will allow us gain learning about policies and its effect on system.

Former simulations allow us to evaluate the Buchanan theory and consider the impact of a cartel dismantling policy into the illegal drugs market. Our model allows us argue that a dismantling cartel policy does involve counter intuitive mechanisms who affect whole market especially for unleashing illegal workforce and generating a competitive market of criminal services.

Model shows as policies focussed on a sole part of the criminal firm involves side effects which benefits another echelon of supply chain. Although criminal antitrust strategy showed unexpected and undesired consequences, policy against heads, seems to be the most harmful strategy in order to face a criminal monopoly. Great push on law enforcement agencies forces it to concentrate efforts on criminal heads, and public opinion considers their fall like the crime end. Nonetheless, model reveals that it is more beneficial, at least in the short run focussing on members than heads. Such policy reveals to be the most expensive situation in which they could be placed.

We gained learning from a policy rebuilt and policy experimentation as law enforcement on only

members hasn't been implemented against any Colombian know big criminal firm. Further research needs to be done in order to consider the homicide and inmate increase, and the best way to operate on market within carry it to best conditions for final consumers.

REFERENCES

[1] ROTTEMBERG, S., 'The Economics of Crime and Punishment', American Enterprise Institute for Public Policy Research. 1973, 232 p.

[2] REUTER, P., 'Disorganized Crime: The Economics of the Visible Hand', London, MIT, 233 p. En: Fiorentini, G., (1999), 'Organized Crime and Illegal Markets', Dipartimento di Scienze Economiche. Università di Bologna. 1983.

[3] FIORENTINI, G., y Peltzman, S., 'The Economics of Organized Crime', Cambridge University Press. ISBN 0 521 47248 2. 1995.

[4] FIORENTINI, G., 'Organized Crime and Illegal Markets', Dipartimento di Scienze Economiche. Università di Bologna. 1999.

[5] VARGAS, R., 'Drogas, conflicto armado y seguridad global en Colombia', Nueva sociedad (192): 117-131. Available at: http://www.nuso.org/upload/articulos/3212_1.pdf (In Spanish). 2004.

[6] THOUMI, F., 'From drug lords to war lords: the development of the illegal drug industry and the "unintended" consequences of anti-drug policies in Colombia', Centro de Estudios y Observatorio de Drogas y Delito-CEODD-Facultad de Economía, Universidad del Rosario. 2006.

[7] LÓPEZ-RESTREPO, A., Camacho-Guizado, A., 'From smugglers to drug-lords to "traquetos": Changes in the Colombian illicit drug organizations', Canadian Journal of Latin American and Caribbean Studies. 2003. 28(55-56): 249-76.

[8] SAULOY, M., BONNIEC, Y. L., '¿A quién beneficia la cocaína?' TM Editores. ISBN: 958-601-506-8. 1994. (In Spanish).

[9] Vicepresidencia. Colombia, 'Dinámica reciente de la violencia en el Norte del Valle'. Observatorio del Programa Presidencial de Derechos Humanos y DIH. Disponible: www.derechoshumanos.gov.co/observatorio/04_publicaciones/nortedelvalle.pdf (In Spanish). 2006.

[10] Duncan, G., 'Historia de una subordinación: ¿Cómo los guerreros sometieron a los narcotraficantes?', Revista Foro. 57: 42-67. 2006. (In Spanish).

[11] UNODC, "World Drug Report", United Nations. Available at: <http://www.unodc.org/unodc/en/data-and-analysis/WDR-2006.html> . 2006.

[12] Buchanan, James M., "A Defense of Organized Crime?" in Rottenberg, Simon (ed.), The Economics of Crime and Punishment. American Enterprise Institute for Public Policy Research. 1973.

[13] KRAUTHAUSEN, C. (1998), "Padrinos y mercaderes: Crimen organizado en Italia y Colombia", Editorial Planeta. Bogotá, D.C. 1998. 475 p.

[14] REUTER, P., 'The Need for Dynamic Models of Drugs Markets', Bulletin on Narcotics. LIII (1 & 2). Available in: http://www.unodc.org/unodc/en/bulletin/bulletin_2001-01-01_1_page003.html. 2001.

[15] FRONTLINE, 'Interview to Juan David Ochoa', Available in: <http://www.pbs.org/wgbh/pages/frontline/shows/drugs/interviews/ochoajdo.html> (In Spanish). 2006.

[16] DUNCAN, G., (2006B), 'Los señores de la guerra: de paramilitares, mafiosos y autodefensas en Colombia', Editorial Planeta Colombia S.A. Third edition. Bogotá, D.C. (In Spanish).

Modelo de Dinámica de Sistemas para la toma de decisiones en la inversión pública municipal. Un enfoque sistémico

Pablo Hernando Osorio Calderón
Hugo Hernando Andrade Sosa
Urbano Eliécer Gómez Prada
Natalia Fernanda Díaz Díaz

Universidad Industrial de Santander

pabloosorio5@hotmail.com
handrade@uis.edu.co
urbanoeliecer22@hotmail.com
natalia.diazdiaz@gmail.com

Resumen:¹ Esta ponencia pone a consideración de la comunidad de Dinámica de Sistemas, un modelo de simulación desarrollado con Dinámica de Sistemas, el cual se aproxima a construir el fenómeno de la ejecución e inversión pública municipal, enfocado en evaluar proyectos propuestos más allá del factor costo/beneficio en el contexto económico, analizando el impacto que generan estos proyectos en la calidad de vida de las personas, a través del resultado obtenido en el índice de desarrollo humano, demostrando que el interés sobre el beneficio general de la comunidad es superior al particular, por lo tanto, los primeros asuntos para resolver se encuentran liderados por las necesidades de las comunidades vulnerables. Asimismo se puede mostrar a la comunidad en general los argumentos en los cuales el alcalde se basó para tomar una decisión, igualmente, observar los resultados a corto, mediano y largo plazo, es decir, con este proyecto se genera un ambiente de aprendizaje para la toma de decisiones en la ejecución del presupuesto de la administración pública.

Palabras claves: administración municipal, Dinámica de Sistemas, calidad de vida, evaluación de proyectos.

Abstract: This project provides results in a simulation model developed using system dynamics which approximates to build the phenomenon of municipal enforcement and public investment, focused on evaluating proposed projects beyond the factor cost / benefit in the economic context, but by analyzing the generated impact by these projects in the quality of life of people through the results obtained in the human development index, showing that the interest on the general benefit of the community is superior to the individual, therefore, the first items to solve are lead by the needs of vulnerable communities. It also can show the community at large the grounds on which the mayor was based to make a decision and also see the results in the short, medium and long term, this project generates a learning environment for decision-making in the implementation of public administration budget.

Keywords - Municipal Administration, System Dynamics, Quality Of Life, Project's Assessment.

INTRODUCCIÓN

Este modelo se desarrolló en la búsqueda de un útil para apoyar la toma de decisiones en el ámbito económico y social de la comunidad municipal, y de un ambiente de aprendizaje que aporte criterios para sustentar las decisiones de inversión pública.

¹ Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia; en el marco del Octavo Congreso latinoamericano y Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2010, Medellín. Mayor información sobre este trabajo y labores del grupo SIMON: <http://simon.uis.edu.co/>

Los primeros resultados de este trabajo de investigación se presentaron en el 7° congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas y 7° encuentro colombiano de Dinámica de Sistemas, donde se esbozó la hipótesis dinámica básica y una primera aproximación de la estructura. Con la presente ponencia se avanza en términos del modelo completo, se desarrolló cada uno de los componentes planteados, la ejecución de una primera evaluación del mismo y el inicio de una nueva implementación en otro municipio; la documentación se nutrió de diferentes fuentes que aportaron argumentos que proporcionan un mayor nivel de confianza en las relaciones formuladas entre los componentes del modelo y los resultados que nos proporcionan las simulaciones.

La estructura de este artículo se despliega de la siguiente manera: primero, una síntesis del contexto teórico, partiendo de las ideas administración municipal y de calidad de vida, junto con la relación de estos dos factores en términos de DS y los principales aportes surgidos de una aproximación al estado del arte. Con el anterior ítem el lector tiene una perspectiva para asumir la estructura propuesta para este modelo, uno de los sectores que conforman la estructuras definen de dónde sale y llega el dinero (economía), junto con los sectores en donde se invierte (salud y educación); Además, en cada uno de los sectores de aspectos sociales (confianza política y población) se presentan las relaciones y componentes que se establecen en el modelo y los resultados obtenidos de la simulación del mismo, haciendo referencia a datos históricos. En los últimos numerales se hace mención a la evaluación del modelo, a través de los diferentes tipos de pruebas; las conclusiones y las referencias bibliográficas.

1. LA UNIDAD DINÁMICA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA MUNICIPAL Y CALIDAD DE VIDA

La unidad entre administración pública y calidad de vida se supone que siempre debe estar presente en las decisiones municipales, ya que una administración municipal busca otorgar y facilitar el bienestar de sus habitantes. Sin embargo, esta unidad conceptual se manifiesta en la práctica fragmentada, se ha desintegrado con el tiempo. A continuación se esboza el fundamento teórico de administración pública municipal y calidad de vida, con el fin de formalizar la unidad conceptual que constituyen,

en su relación dinámica que le dan razón y sentido a cada uno de ellos.

1.1. Administración pública municipal

Este proyecto identifica que la administración pública, abordada desde el campo de la ingeniería de sistemas y con el uso de la Dinámica de Sistemas, permite asumir una situación de interés común para el beneficio de la comunidad en general, identificando cómo ésta interactúa con toda la población de un municipio, ciudad, departamento o país, ofreciendo la posibilidad de reconocer, examinar y analizar los elementos principales que describen el comportamiento en las áreas económicas, sociales, culturales, entre otras; haciendo de esta herramienta un medio de acercamiento entre el usuario de la misma y el fenómeno, asunto objeto de las decisiones en la inversión.

Por lo ya afirmado, previamente a iniciar el proceso de modelado, es necesario identificar el contexto en el cual se encuentra la administración de los recursos a nivel municipal; contexto que determina el manejo del presupuesto. Coherentemente con la normatividad, el dinero público no se puede invertir de manera aleatoria en los diferentes sectores de tipo social, económico, cultural entre otros, es decir, la inversión y distribución del presupuesto municipal está ceñido por criterios previamente establecidos, haciendo que el problema de las decisiones en inversión aumente, ya que se deben promover proyectos estratégicos que generen solución a las necesidades o problemas presentes de la municipalidad y se ajusten a la normatividad establecida, según los lineamientos del **DNP**². El jefe de la administración municipal, “el alcalde”, es el encargado de distribuir el presupuesto en proyectos y programas orientados al mejoramiento de la calidad de vida de la población, con el fin de dinamizar un ambiente lleno de oportunidades para sus habitantes.

Los proyectos y programas implementados en un municipio deben estar orientados a mejorar la calidad de vida de las personas, lo cual no consiste solamente en atender emergencias en sectores como: salud, educación y vías. La metodología utilizada para construir y evaluar los diferentes proyectos que se van a implementar a nivel

² [] Departamento Nacional de Planeación, Disponible: <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/QuiénesSomos/tabid/144/Default.aspx>. [citado 20 de Junio de 2009].

nacional, departamental y municipal es establecida por la MGA³.

1.2. Calidad de vida

La idea de calidad de vida aquí asumida es la asociada a nivel internacional al índice de desarrollo humano (IDH), el cual mide las oportunidades que tiene una persona para ser o hacer lo que ella quiere ser o hacer.

Así mismo, el interés por el desarrollo humano nace después de la II Guerra Mundial con el proceso de descolonización, sin embargo la idea de desarrollo en ese momento estaba asociada al crecimiento económico de un país; años después, al surgir problemas como bajas tasas de educación, mortalidad a gran escala y la pérdida de algunos recursos naturales no renovables, la humanidad fue siendo consciente de que el desarrollo de una sociedad no puede depender solamente del crecimiento económico del presente, que es indispensable no agotar los medios o suministros necesarios para el desarrollo de generaciones futuras; por lo tanto factores como la educación y la salud se constituyeron en temas de interés en el concepto de calidad de vida y puntos de partida para el análisis de la calidad de vida de los habitantes de un municipio.

Así, el IDH contempla 3 aspectos fundamentales, la economía, la salud y la educación; al tratar el tema de economía se tiene presente el PIB per cápita, en el tema de salud se asume como factor de medida la esperanza de vida al nacer y en la educación la medida de la matriculación en los niños y jóvenes y el alfabetismo adulto.

2. IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO DE ADMINISTRACIÓN PÚBLICA MUNICIPAL CON DS

Hablar de administración pública implica hablar indirectamente del bienestar de la comunidad, lo cual implica operar en tres dimensiones: la económica, la social y la sectorial.

La dimensión económica contempla la gestión de los recursos disponibles por una administración municipal para realizar algún tipo de inversión.

En la dimensión social se manejan factores como la dinámica poblacional, la participación en el recaudo y aspectos cualitativos como la confianza política.

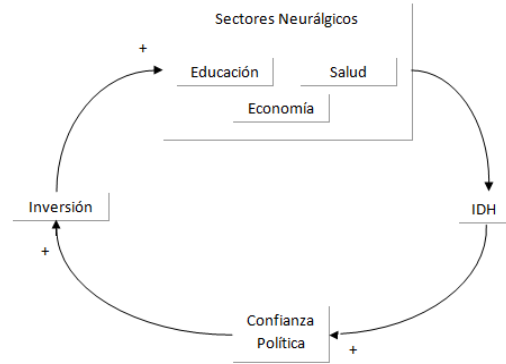


Figura 1. Ciclo base de la dinámica de una Administración Pública Municipal.

La dimensión sectorial está conformada por un grupo de sectores previamente clasificados por la Nación y la administración municipal, cubriendo los aspectos o rasgos que caracterizan a una comunidad, comúnmente los sectores más nombrados son: educación, salud, cultura y turismo, agua potable y saneamiento básico, esto permite realizar una organización de metas y objetivos al instante de buscar solución a las necesidades de la población, creando un *plan de acción*⁴ claro y conciso, que se convierte en la guía de problemas a solucionar, dando pie a que las proyecciones de ejecución del presupuesto sean transparentes.

En este proyecto se analizan 3 sectores neurálgicos (sector neurálgico es el que está relacionado con la mayor cantidad de sectores posibles, el cual al ser afectado, genera cambios en los sectores con los cuales está relacionado) que son: educación, economía y salud.

2.1. TRABAJOS AFINES EN DS

En la búsqueda de la DS aplicada al campo de la gestión presupuestal en la administración pública y la calidad de vida poblacional, los modelos y herramientas software trabajaban temas por separado

[³] Metodología General Ajustada, es una metodología la cual ayuda a obtener una visión amplia de la forma como se puede abordar y solucionar un problema, buscando lograr la estandarización del lenguaje de la Inversión Pública. Disponible:

<http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/PolíticasdeEstado/BancodeProgramasyProyectosdeInversiónNal/ComponenteMetodológico/tabid/170/Default.aspx>. [citado 20 de Mayo de 2009]

[⁴] Un plan de acción es un tipo de plan que prioriza las iniciativas más importantes para cumplir con ciertos objetivos y metas. Disponible: <http://definicion.de/plan-de-accion/>. [citado 28 de Julio de 2009].

así: uno enfocado en el aspecto gerencial de un alcalde en la administración pública⁵, el aporte a destacar de este proyecto lo constituye el análisis y propuestas que realizan los autores acerca del funcionamiento de una administración municipal de sexta categoría, en Colombia más del 89% de los municipios se encuentran en esta categoría. El trabajo con DS desarrollado en la Universidad de los ANDES⁶, resalta la problemática generada por los múltiples enfoques que hacen difícil una visión homogénea de la disciplina de ser el administrador de los recursos públicos, además de la crisis de legitimidad de la función pública debida a la pobre habilidad para solucionar problemas. A nivel latinoamericano, en Perú, sobresale un proyecto que trabaja con mayor detalle los diferentes sectores que componen la estructura funcional de un municipio⁷, este proyecto organizó el trabajo en los siguientes sectores: Desarrollo Humano, Desarrollo de la Producción Agropecuaria, Desarrollo Económico, Desarrollo Urbano, Ambiente y Ecología. A nivel internacional⁸, se encontró un modelo de las principales magnitudes que describen el comportamiento socioeconómico de una región, el cual no maneja sectores o estratos por cada una de sus zonas geográficas “pueblos, municipios” sino que maneja dos estratos: el estrato regional y el estrato comarcal o zonal, donde el estrato regional contempla características macroeconómicas mientras que el estrato comarcal o zonal contiene zonas homogéneas con relación a las determinadas magnitudes económicas o sociológicas de interés.

[⁵] DÍAZ QUINTERO, Yesid. ROJAS SALAZAR, Helmut., Propuesta para mejorar la capacidad gerencial de alcaldes en la administración pública de los municipios de sexta categoría [online]. Disponible en internet: <http://dl.dropbox.com/u/426503/Propuesta%20para%20mejorar%20la%20capacidad%20gerencial%20de%20alcaldes%20en%20la%20administraci%C3%B3n%20p%C3%BAblica%20de%20los%20municipios%20de%20sexta%20categor%C3%ADa.pdf>

[⁶] OLAYA, Camilo. Dinámica de Sistemas en la administración pública municipal colombiana [online]. Disponible en internet: <http://dl.dropbox.com/u/426503/Din%C3%A1mica%20de%20sistemas%20en%20la%20administraci%C3%B3n%20p%C3%BAblica%20municipal%20colombiana%20.ppt>

[⁷] TAIPE, Robensoy., Las organizaciones públicas desde la perspectiva holista, caso de la Municipalidad Distrital de El Tambo [online]. Disponible en internet: <http://dl.dropbox.com/u/426503/Las%20organizaciones%20p%C3%BAbricas%20desde%20la%20perspectiva%20holista%20caso%20del%20tambo.pdf>

[⁸] MARTINEZ VICENTE, Silvio. ARACIL J. RUIZ DE FRANCISCO, F, La simulación dinámica aplicada a la ordenación de recursos: un modelo a dos niveles [online]. Disponible en internet: http://files.getdropbox.com/u/426503/a010_03.pdf

2.2. MODELO PROPUESTO

El modelo propuesto se estructura en cuatro sectores: Economía, que contempla los recursos de la inversión. Salud, está conformado por la esperanza de vida al nacer. Educación, maneja la matriculación estudiantil y alfabetismo adulto y, por último, el sector que contiene los aspectos sociales de la comunidad municipal, como número de habitantes, confianza política y participación de la comunidad en el recaudo de impuestos.

En los diferentes sectores se presentan los resultados de un escenario de simulación, el cual tuvo los parámetros de decisiones tomadas en años anteriores respecto a la inversión de presupuesto en los sectores nombrados anteriormente, los resultados del modelo se presentan por cada sector junto con los resultados históricos de los últimos años.

2.2.1. SECTOR ECONOMÍA

El sector económico, considerado con la óptica del PIB per cápita (el PIB es medido a nivel nacional, pero en este proyecto se hace un acercamiento a nivel municipal), el cual demuestra el estado financiero de una población, dando a conocer la capacidad de adquisición disponible por cada habitante.

La economía de una administración local contempla la manera como llegan ingresos a un municipio, los cuales son gestionados de forma directa por la alcaldía o girados por la Nación; junto con el modo de cómo los recursos son distribuidos inmediatamente en los diferentes sectores del municipio propuestos por el DNP, con el fin de realizar una inversión posterior a través de programas o proyectos, dando lugar a un manejo organizado y eficiente del presupuesto.

2.2.1.1. Relación del sector economía con otros sectores

Los recursos propios de una alcaldía (ver figura 2), aumentan principalmente en función al dinero que ésta pueda captar de su comunidad, por medio de impuestos, multas y sobretasas.

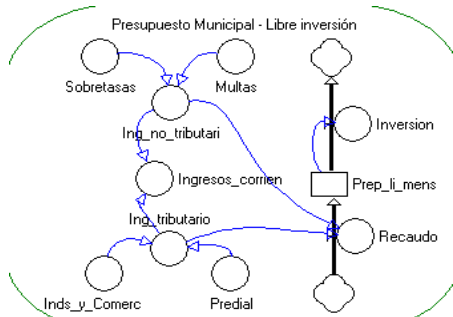


Figura 2. Diagrama de Flujo-Nivel parte del componente presupuesto municipal “Sector economía – libre inversión”

En un municipio la cultura de pago genera autonomía para la alcaldía en la medida que no va a depender totalmente de las transferencias que le hace la Nación, esto lleva a que el alcalde pueda poner en marcha proyectos que se ajusten a las necesidades emergentes de la población y no se vea atado al momento de justificar la inversión.

2.2.1.2. Comportamiento simulado

La figura 3 permite comparar el comportamiento simulado con datos históricos, reflejando una misma tendencia.

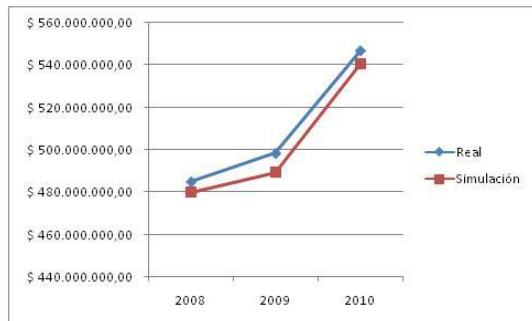


Figura 3. Referencia resultado modelo- datos históricos, presupuesto municipal promedio mensual

Los datos históricos fueron otorgados por la secretaría de hacienda municipal, los simulados son el resultado de la simulación con el modelo, en este caso los ingresos en general dependen de la cantidad de personas que tenga el municipio, ya que el presupuesto girado por la nación depende en gran parte del número de habitantes en el municipio, por otro lado los ingresos recaudados de impuestos, sobretasas y multas no sobrepasan un valor promedio por el número total de habitantes, lo que influye en que el presupuesto aumente o disminuya depende no solamente del número de habitantes, sino de la participación en el pago que hacen las personas en condiciones de hacerlo.

2.2.2. SECTOR SALUD

El indicador que se asume como fundamental en el sector salud es la esperanza de vida al nacer, esto conlleva a estudiar los motivos por los cuales mueren las personas y los factores que los constituyen.

2.2.2.1. Relación del sector salud con el conjunto del modelo

La preocupación por elevar la esperanza de vida, lleva a estudiar las enfermedades principales causantes de las muertes, investigando por las causas profundas que las determinan, entre ellas el estilo de vida de la comunidad, acotándose que no se debe culpar a las enfermedades como causante de la muerte, ya que éstas son un síntoma más del estilo de vida asumido por una persona. El tema de salud y esperanza de vida al nacer se orienta en la participación comunitaria.

En el sector del diagrama de flujo, nivel descrito en la figura 4, se observa la clasificación por etapas desde los factores humanos como: cogestión (cuando la comunidad participa por preponderancia), autogestión (cuando la comunidad participa de manera espontánea), negociación (cuando se incluyen miembros de la comunidad para planificar las acciones y ejecutarlas) y colaboración (cuando la comunidad coopera).

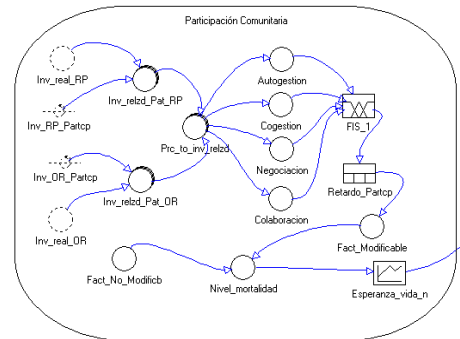


Figura 4. Diagrama de Flujo-Nivel del componente de la esperanza de vida al nacer “sector salud”

Dependiendo del estado como se encuentre cada factor de participación comunitaria, un sistema de inferencia difuso (FIS) determina en el modelo, mediante un conjunto de reglas, el nivel de participación comunitaria.

En función del nivel de participación comunitaria se estima un multiplicador para determinar un valor aproximado de la influencia en la mortalidad, de los factores modificables (es decir, resultado de los efectos de los estilos y condiciones de vida de los

habitantes), junto con los factores no modificables (edad, sexo, raza, herencia, género), son las dos categorías que caracterizan la edad y tipo de muerte de una persona en este modelo.

2.2.2.2. Comportamiento simulado

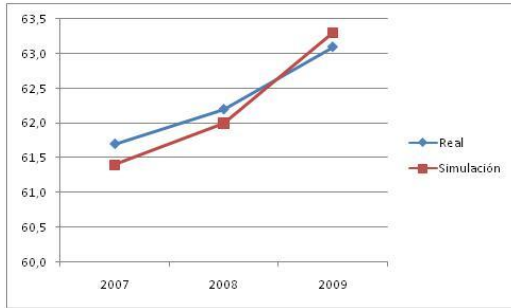


Figura 5. Referencia resultado modelo - datos históricos, esperanza de vida al nacer

La figura 5 presenta la relación entre los datos históricos de la edad de muerte promedio de las personas del municipio en los últimos tres años, y los datos simulados por el modelo,

2.2.3. SECTOR EDUCACIÓN

En este modelo al hablar del sector educación se está contemplando la tasa de alfabetización y de matriculación, junto con los factores en los cuales se debe invertir para que estas tasas cambien.

2.2.3.1. Relación matriculación

La cobertura educacional en un municipio está medida por tres componentes importantes, el número de personas en edad estudiantil, el número de cupos disponibles para estudiar y el número de personas matriculadas; puede surgir la pregunta de ¿por qué tratar el número de cupos disponibles y el número de personas matriculadas por aparte?, porque generalmente la demanda de cupos no es igual a la oferta, en algunos municipios se tienen más cupos disponibles que personas en edad estudiantil, en cambio en otros es más el número de personas en edad estudiantil que el número de cupos disponibles en el municipio, todo esto ya sea por problemas de carácter social, económico, cultural, geográficos, entre otros.

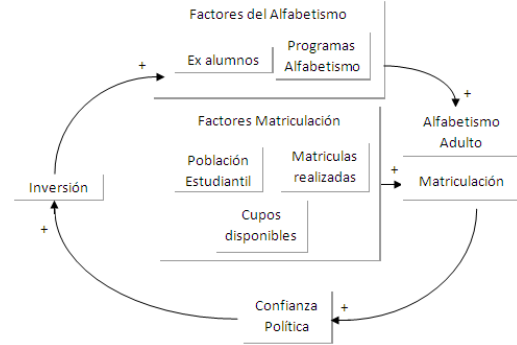


Figura 6. Diagrama de Influencias matriculación escolar y alfabetismo adulto "Sector educación"

La figura 6 muestra la relación entre la matriculación y el alfabetismo, en el ciclo de la hipótesis dinámica del modelo, con el presupuesto y la confianza política.

2.2.3.2. Relación alfabetismo

El alfabetismo es trabajado en este modelo de la siguiente manera: un nivel maneja el número de habitantes de 18 a 60 años de edad, y otro nivel el número de personas de 18 a 60 años de edad que tienen al menos un nivel de educación media, con estos dos valores se calcula el porcentaje de alfabetismo adulto.

2.2.3.3. Comportamiento matriculación

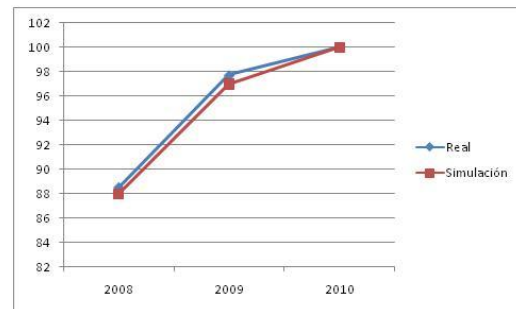


Figura 7. Referencia resultado modelo – datos históricos, matriculación escolar

En la figura 7 se presentan las trayectorias temporales de los datos históricos en los últimos tres años y los datos simulados para el mismo periodo. Cabe resaltar que estos resultados se obtienen bajo un escenario en el cual se mantienen los parámetros de la toma de decisiones constantes, cuando se modifican las decisiones cambian los resultados de la simulación.

2.2.3.4. Comportamiento alfabetismo

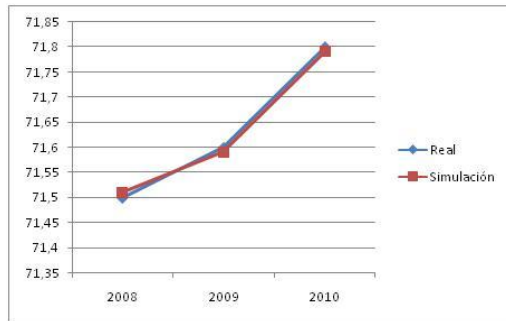


Figura 8. Referencia resultado modelo – datos históricos, alfabetismo adulto

Es de esperar que el porcentaje de alfabetismo (ver figura 8) de la simulación y el histórico sean muy similares, ya que en los últimos años en el municipio asumido como referente, no se han implementado programas de alfabetismo para personas adultas.

2.3. POBLACIÓN (No. de habitantes)

Una población posee dos características importantes, la natalidad y mortalidad, la manera como estos factores aumentan o disminuyen, depende en su mayoría de la cultura y educación que posee la comunidad en general, éstos tienen relación directa en el modelo con los sectores educación y salud, además se manejan factores como la emigración e inmigración, relacionados con el IDH, junto con la población inicial.

2.3.1.1. Comportamiento poblacional

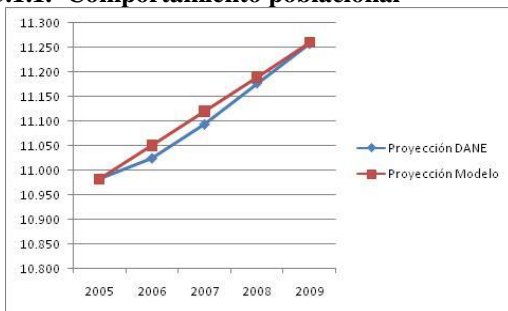


Figura 9. Referencia resultado modelo - DANE, número de habitantes en el municipio

Como se observa en la figura 9, los datos de la proyección hecha por el DANE y la del modelo no tienen gran diferencia.

2.4. ASPECTOS SOCIALES

Una de las características principales de este trabajo está asociada con la medición cualitativa del efecto de la inversión decidida por el alcalde durante el

tiempo, reflejada en el indicador Confianza en el Estado (CE), la cual responde a un atractivo social y económico; desde el punto de vista económico, los ingresos tributarios de la administración municipal tenderán a incrementarse gracias al pago de los impuestos predial e industria y comercio, a nivel social la población participará con un mayor interés e inclusión en las jornadas de salud, educación, etc.

2.4.1.1. Relación

En este sector no existe relación directa entre el IDH y la confianza en el Estado (confianza política), pero en ningún momento cambia la hipótesis básica del modelo, ya que continúa la relación entre la calidad de vida de las personas y la confianza en el Estado, solamente que no es a través de un indicador como el IDH, puesto que la confianza política y participación en el recaudo son el resultado de factores de carácter cualitativo, a continuación se presenta el diagrama de flujo - nivel del sector confianza política.

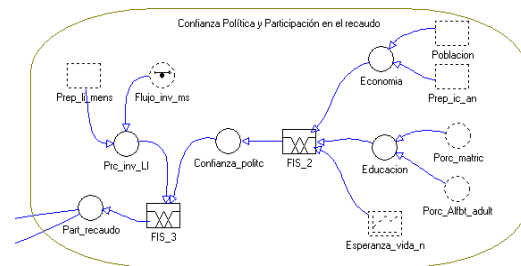


Figura 10. Diagrama de flujo-nivel confianza política

En la figura 10 se observan 2 (dos) sistemas de inferencia difusa, uno es FIS_2 como se observa en la figura, es el encargado de establecer el índice de confianza política que tienen las personas con respecto a la administración municipal, dependiendo del estado en que se encuentre la educación, economía y salud en el municipio. El segundo sistema de inferencia difusa FIS_3, calcula un porcentaje aproximado de participación de los habitantes en el recaudo, este porcentaje lo calcula dependiendo del estado en que se encuentre, la confianza política de las personas y el porcentaje de inversión de los ingresos corrientes del municipio, es decir, el dinero que se recauda de los impuestos, tasas y multas pagados por las personas del municipio.

2.4.1.2. Comportamiento

La confianza política es el resultado de la integración que hace la población de tres factores importantes: educación, salud y economía. Como se señaló en cada sector, al hablar de educación se entiende el promedio de matriculación y alfabetismo en la

comunidad, respecto a salud, la esperanza de vida al nacer, y en economía es la paridad de poder adquisitivo medida en pesos colombianos lo que indica la situación económica de los habitantes.

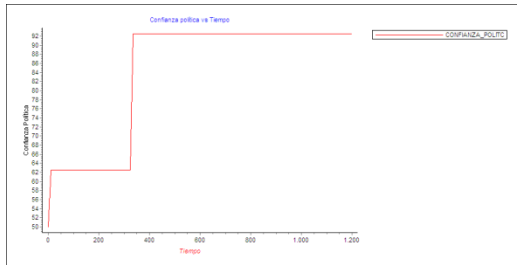


Figura 11. Resultado modelo, confianza política

En este escenario de simulación la confianza política aumentó debido al crecimiento en la esperanza de vida al nacer, produciendo un aumento en el recaudo de ingresos tributarios debido al pago oportuno de los impuestos: predial e industria y comercio, resultado del crecimiento de la participación en el recaudo (figura 11).

3. EVALUACIÓN DEL MODELO

Para evaluar el modelo, hasta el momento se ha realizado una serie de pruebas tales como: consistencia dimensional, condiciones extremas, análisis de sensibilidad y evaluación de la estructura para los diferentes componentes que lo conforman, identificando que la evolución del modelo hasta el momento lo hace confiable para lo que fue propuesto, los componentes que lo conforman tienen un fin útil y una razón de ser en la estructura del modelo, se comprueba que los diferentes elementos tienen una relación congruente con la realidad, la minería de datos hecha hasta el momento permite que las variables tengan una consistencia dimensional sin la necesidad de generar supuestos o parámetros de ajuste y al mismo tiempo se identifica el rango de valores que pueden llegar a tomar los diferentes parámetros o elementos, al trabajar en condiciones extremas los componentes mantienen un comportamiento esperado.

CONCLUSIONES

El modelo permite confirmar de manera cuantitativa la hipótesis dinámica planteada, es decir, que invertir con una orientación por mejorar la calidad de vida de la población a través de los diferentes programas o proyectos ejecutados en un municipio, representa no solamente un beneficio en el desarrollo humano de la población, sino que también representa una retribución económica para la administración en

materia de ingresos por medio del pago de los impuestos tributarios, dinamizando un ciclo positivo de crecimiento de la calidad de vida.

La cantidad de habitantes del municipio durante el proceso de simulación demostró que el modelo no tendía a desbordarse, debido a la influencia de los niveles de educación y esperanza de vida al nacer, demostrando la relación dinámica que poseen estas variables en el modelo de simulación.

Gracias al modelo se pueden hacer afirmaciones como:

Mejorar la calidad de vida es un proceso a largo plazo, ya que factores como la esperanza de vida al nacer o la alfabetización adulta, reflejan los resultados esperados después de largos periodos de tiempo de invertir para mejorarlos.

Invertir en participación comunitaria requiere más de un proyecto muy bien desarrollado basado más en las necesidades de la población, que en la cantidad de dinero disponible para invertir en este aspecto, ya que los costos no son muy elevados pero el impacto alto afecta directamente los estilos de vida en la comunidad.

A un mayor grado en los niveles de educación en el municipio, la regulación del número de habitantes en el municipio tenderá a ser estable, incluso el presupuesto necesario para mantener o mejorar las necesidades básicas de la población.

Los resultados obtenidos del modelo sirven para sustentar decisiones asociadas al desarrollo de los diferentes planes o proyectos que se deseen implementar en el municipio, con una orientación centrada en el IDH.

Los datos necesarios para establecer los valores iniciales y el comportamiento de las diferentes variables del modelo, se obtuvieron de la comunidad en general a través de encuestas o de registros históricos que tiene la alcaldía de los aspectos económicos y sociales, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE SOSA, H. y otros, Pensamiento Sistémico: Diversidad en Búsqueda de unidad, 1ª Edición, capítulos 3 y 4, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. “Orientaciones para la programación y ejecución de los recursos del sistema general de participaciones - SGP”, DNP, 2009, p. 466.

RAMÍREZ PLASCENCIA, Jorge. Tres visiones sobre capital social: Bourdieu, Coleman y Putnam. Disponible en internet:

<http://dl.dropbox.com/u/426503/definiciones%20capital%20social.pdf>

DELGADO, Pedro, SALCEDO, Tulia, Aspectos conceptuales sobre los indicadores de calidad de vida. Disponible en internet: <http://files.getdropbox.com/u/426503/AspectosConceptuales.pdf>

GRANADA, Henry. Curso: Desarrollo comunitario. Disponible en internet:

http://dl.dropbox.com/u/426503/Relacion_sujeto_social-medio.pdf

RUBAL, Martiño. Confianza social y confianza política en España. ¿Cambio generacional o efecto de ciclo vital? Disponible en internet: <http://dl.dropbox.com/u/426503/Capital%20social%20mirar%20cultural.pdf>

La investigación en la Universidad de los Andes como procesos de acumulación de capital humano: una aproximación desde la Dinámica de Sistemas.

Research as processes of human capital accumulation at the Universidad de los Andes: A system dynamics approach.

Adriana Díaz M. Estudiante de doctorado.

Departamento Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Bogotá
ad.diaz167@uniandes.edu.co

Víctor Bucheli G. Estudiante de doctorado.

Departamento Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Bogotá
vbucheli@uniandes.edu.co

Roberto Zarama U. Profesor Asociado.

Departamento Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Bogotá
rzarama@uniandes.edu.co

Resumen. En la universidad colombiana la gestión de la investigación ha adquirido mayor importancia. En la Universidad de los Andes (Uniandes) la investigación de alto nivel es uno de los objetivos institucionales. Este documento presenta un modelo conceptual de la producción de conocimiento científico en Uniandes con base en su capital humano y la relación docencia-investigación, con el fin de entender las estructuras de realimentación presentes y definir aspectos clave para las políticas internas de investigación.

Palabras Clave: capital humano, gestión de investigación universitaria, producción científica, realimentación, universidad.

Abstract. The Colombian universities have an increasing interest in their knowledge management. La Universidad de los Andes has as one of their institutional objectives the promotion of high-level research. This paper describes a conceptual model of the scientific knowledge production in Uniandes to understand the research process and the relations between human capital, research and teaching activities. We propose that this conceptual model could be used to support the internal decision making of research policies.

Key words: human capital, university research management, knowledge production, feedback structures, university.

1. INTRODUCCIÓN

Las universidades en Colombia son actores centrales en la producción científica del país [1]. En las universidades se concentra gran parte de los recursos, el personal calificado y los esfuerzos para investigación. En este sentido, la gestión de la investigación en la universidad ha adquirido cada vez mayor importancia, además los procesos de acreditación y la participación de las universidades en rankings internacionales de universidades han planteado nuevos retos para la gestión de la investigación universitaria.

Algunas universidades colombianas han definido planes y políticas centrados en la construcción de indicadores, que han sido útiles como marco de referencia para representar y medir sus capacidades de investigación. Sin embargo, Jin y Rouseau [2] plantean que los indicadores basados en ciencimetría o bibliometría en un nivel macro proporcionan puntos de comparación y de referencia, pero en el nivel micro al momento de evaluar el desempeño de los científicos son limitados.

En este trabajo se propone observar un sistema de producción intelectual a través de un modelo que describa las relaciones y las estructuras que subyacen a los procesos de investigación. Estos procesos involucran varios actores que toman decisiones y de su interacción surgen ciclos de realimentación que permiten los procesos de acumulación y fuga de capacidades para investigar. Se plantea la Dinámica de Sistemas como una herramienta apropiada para entender los procesos de producción de conocimiento y apoyar la toma de decisiones y la definición de políticas de investigación en la universidad.

En este documento se presenta un modelo conceptual de la investigación en la Universidad de los Andes. En esta primera aproximación se describen las estructuras de realimentación presentes en el sistema de producción de conocimiento científico de Uniandes con base en el capital humano y la relación docencia-investigación. Además se discuten las implicaciones que estas estructuras tienen en el desarrollo de políticas internas de investigación de la universidad.

2. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA EN LA UNIVERSIDAD COLOMBIANA

Desde su origen la universidad ha tenido como característica inseparable la ciencia y por supuesto la investigación, ésta entendida en su sentido más amplio [3]. Aunque la universidad y la investigación han evolucionado, la relación entre éstas se ha mantenido, y en la actualidad las universidades que buscan liderazgo se enfocan en su desarrollo científico [4]. Cabe resaltar que mundialmente las universidades no son las únicas organizaciones que se interesan por producir conocimiento científico, aunque en Latinoamérica y específicamente en Colombia gran parte de los recursos, el personal calificado y los esfuerzos para investigación se concentran en las universidades [1] [5] [6].

En la década de los sesenta surge en Colombia el interés por que las universidades también se dedicaran a la investigación y se cambiara el modelo dedicado solamente en la enseñanza de profesiones [5]. En el “Informe Atcon” publicado en 1963, Rudolph Atcon planteaba que la reforma de la universidad latinoamericana era necesaria ya que se había convertido en un obstáculo para el desarrollo del continente [5]. Es en esta época en la que se da inicio a los proceso de reforma de las universidades colombianas, como la modernización de la Universidad del Valle (1962), de la Universidad de Antioquia y la Reforma Patiño para la Universidad

Nacional que impulsó los cambios en las universidades [5].

Finalmente y después de aproximadamente veinte años la investigación se empieza a consolidar como una actividad cotidiana de las universidades. En este proceso que continúa actualmente, se debe destacar la creación de Colciencias y del ICFES en 1968, los dos créditos BID en 1985 y 2000 y la creación del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología en 1991 [5].

Las universidades colombianas que investigan son actores importantes en la ciencia y la tecnología del país, ya que como ocurre en la mayoría de países del tercer mundo, “son los puntos en que una nación concentra la capacidad de crear conocimiento” [6]. Por ejemplo, en el año 2007 del total de investigadores activos en Colombia el 89,5% trabajaba en Instituciones de Educación Superior (IES) y más de la mitad de los recursos para investigación y desarrollo del país fueron utilizados por IES, que en su mayoría fueron universidades [1]. Así mismo, Colombia ha hecho un esfuerzo por incrementar la formación de investigadores por medio de programas doctorales, y en la última década se ha creado la mitad de los programas existentes y se ha quintuplicado la matrícula de estudiantes en estos programas [1].

2.1. Gestión de la investigación en las universidades

La gestión de la investigación es un tema cada vez más importante para las universidades colombianas, dado que la investigación es un criterio de la acreditación de calidad y afecta su reconocimiento internacional.

Las universidades del país que hacen investigación se han preocupado por definir planes y estrategias que guíen sus actividades de investigación así como métodos para medir los recursos que se invierten y los resultados de estos planes. Estos métodos se han basado en indicadores que les permiten medir en cada período las entradas y salidas del proceso de investigación.

Según [7] las universidades son “sistemas dinámicos, complejos y no lineales”. De esta manera los indicadores relacionados con la investigación permiten representar las entradas y salidas de los procesos que se llevan a cabo en la universidad pero no representan toda su complejidad. Además, dado que se involucran diversos actores que toman decisiones y que interactúan dinámicamente, los

modelos no dinámicos podrían no ser apropiados para apoyar la toma de decisiones [8].

Como lo plantea [7], la Dinámica de Sistemas es un método apropiado para modelar problemas diversos en educación y específicamente en educación superior. Este artículo propone utilizar la Dinámica de Sistemas para describir la complejidad presente en los procesos de investigación, de manera que sea posible aprender del sistema y apoyar la toma de decisiones [9]. En este sentido se plantea un modelo del proceso de investigación para la Universidad de los Andes, que busca entender las dinámicas presentes y plantear aspectos importantes para la definición de políticas de investigación.

2.2. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

La Universidad de los Andes fue fundada en 1948 en Bogotá (Colombia); primera universidad privada colombiana independiente de partidos políticos y de carácter no confesional. Su misión refiere: “la Universidad busca la excelencia académica e imparte a sus estudiantes una formación crítica y ética [...]. Para lograr tal fin, la Universidad de los Andes desarrolla y pone en práctica metodologías de avanzada en la docencia y la investigación [...]. Así mismo, propicia el ambiente interdisciplinario flexible esencial para la integración de las artes, las ciencias, la tecnología y las humanidades, estimulando la formación integral” [10].

Actualmente la universidad cuenta con 9 facultades, cada una de las cuales ofrece programas de pregrado y posgrado. En la siguiente tabla se presentan algunos datos de la universidad:

Tabla 1. Universidad en cifras (Segundo semestre del 2009)

Programas	
Número de programas de pregrado	28
Porcentaje de programas acreditados	100%
Número de programas de Doctorado	15
Número de programas de Maestría	34
Estudiantes	
Número de estudiantes de pregrado	12,299
Número de estudiantes de Maestría	2,024
Número de estudiantes de Especialización	1,111
Número de estudiantes de Doctorado	158
Total de estudiantes de postgrado	3,293
Profesores	
Total Profesores de Planta	557
Profesores de Cátedra	769

Fuente: Dirección de Planeación y Evaluación. Universidad de los Andes [11.]

Para la Universidad la investigación de alto nivel es uno de sus objetivos institucionales. “Hacia este

objetivo enfoca actividades como el fortalecimiento de los programas de maestría y doctorado, la destinación de recursos propios, la suscripción a bases de datos científicas internacionales, la actualización de la infraestructura, la dotación de laboratorios con tecnología de punta y la dedicación de profesores a la investigación...” [12].

Uno de los objetivos de la Universidad de los Andes es llegar a ser una universidad de investigación y sus políticas se centran en tres ejes: “tener profesionales capaces de hacer investigación de alto nivel, invertir recursos para la realización de la investigación y hacer seguimiento cuidadoso de la producción de conocimiento” [13].

De esta manera el estudio y el monitoreo de los productos científicos en Uniandes se ha convertido en un tema relevante para la Vicerrectoría de Investigación, quien desde hace tres años publica anualmente un libro del estado de la investigación en la universidad. De igual manera en [13] y [14] se han presentado algunos avances en la construcción de un modelo de los procesos de investigación en Uniandes, el cual se basa en el capital intelectual definido como la “capacidad de producción de conocimiento” [15]. El modelo representa los ciclos de acumulación de capacidades en investigación y busca la construcción de una relación entre los recursos, resultados y capacidades [16]. Así, la investigación se observa como un proceso dinámico en el que unos recursos son capitalizados y permiten desarrollar la investigación en el periodo siguiente [16].

Este modelo de Uniandes define cuatro categorías de capital intelectual: capital humano (CH) relacionado con “las capacidades acumuladas en las personas [...] que permiten, mediante la dedicación de un tiempo determinado, el desarrollo de procesos de producción de conocimiento y la producción de documentos científicos, objetos tecnológicos y en general, de objetos de conocimiento” [15], capital estructural (CE) que es el conocimiento propio de la organización el cuál es explicitado, codificado e internalizado por la universidad¹, capital relacional (CR) o relaciones que hacen posible la producción, difusión y uso del conocimiento producido por la

¹ CE se divide en dos: capital organizativo que son normas, reglas, políticas y acuerdos que coordinan la investigación y capital estructural de base tecnológica que son intangibles de base técnica o relacionados con actividad y funciones de este tipo que sirven para obtener productos, desarrollar procesos de producción eficientes y conseguir la base de conocimientos necesaria para desarrollar futuras innovaciones, ejm: sistemas de información, TIC, bases de datos de proyectos de investigación.

universidad, y capital financiero que son los recursos monetarios destinados a la Vicerrectoría de Investigación para diversas actividades como financiación de proyectos, apoyo a los grupos, entre otras [15].

Teniendo como marco de referencia el modelo anterior, esta primera aproximación se centra en el capital humano de la Universidad de los Andes y busca construir un modelo conceptual de la producción de conocimiento científico de la universidad con el fin de entender las estructuras de realimentación presentes en la relación docencia-investigación. Así mismo, el modelo es construido como herramienta para estudiar aspectos clave en la definición de políticas internas de investigación.

3. MODELO CONCEPTUAL DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA EN UNIANDES

El diagrama de ciclos causales es la herramienta que se utiliza en este trabajo para construir el modelo conceptual de producción científica en Uniandes.

3.1. MODELO CONCEPTUAL

A continuación se describen las variables del modelo propuesto:

Reconocimiento: para la universidad lograr el reconocimiento de la comunidad científica es central para uno de los ejes de su Programa de Desarrollo Institucional (PDI) como lo es la calidad y la diferenciación [10]. Para Uniandes el reconocimiento se asocia con su capacidad de producción de conocimiento [16]. Este interés por el reconocimiento y diferenciación de las universidades es un fenómeno mundial que se deriva de la competencia por recursos, ideas, profesores y estudiantes [4]. Y como lo plantea Kerr en [4] “una reputación una vez establecida, es por sí sola la mayor ventaja de una institución”.

Estudiantes de doctorado: “los programas de doctorado son el núcleo central de una universidad de investigación” [14]. Por esto Uniandes ha buscado fortalecer y ampliar sus programas doctorales. Además la universidad reconoce en los estudiantes de doctorado un capital importante para la investigación.

Puestos estudiante: “corresponde al número de estudiantes inscritos en cada uno de los cursos que se ofrecen en los programas de la universidad. Un estudiante de pregrado genera en promedio, alrededor de seis puestos estudiante cada semestre (uno por cada materia que cursa)” [11].

Puesto estudiante por profesor: indica cuántos puestos estudiante en promedio atiende un profesor.

Profesores planta y cátedra: se hace la diferenciación entre profesores de planta y de cátedra, dado que son los de planta quienes dedican parte de su tiempo a investigar.

Tiempo dedicado a investigar: los profesores sólo dedican una parte de su tiempo a investigar dada la carga docente y administrativa que tienen.

Publicaciones científicas Uniandes: las publicaciones son uno de los resultados de investigación, en éstas se puede observar la comunicación entre pares o miembros de una comunidad científica. Es por esto que el indicador de número de publicaciones se asocia a la actividad científica [17]. Los artículos publicados en revistas arbitradas son un tipo de publicación, y son “la medida internacional más directa de la capacidad de producir conocimiento de un grupo social” [5].

Tasa producción de publicaciones de un profesor: indica el número de publicaciones promedio que un profesor produce en un año.

Los principales ciclos de realimentación identificados a partir del modelo se describen a continuación (Figura 1):

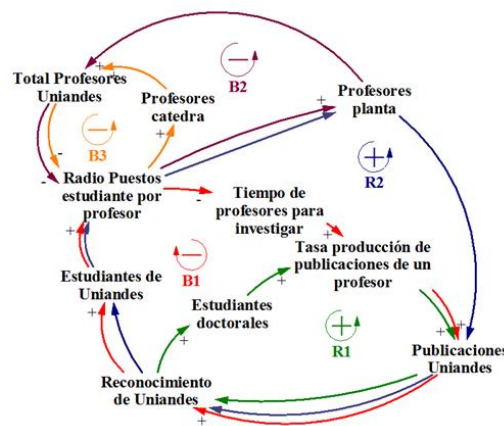


Figura 1. Modelo conceptual producción científica en Uniandes

Producción científica y estudiantes de doctorado

El ciclo R1 define el refuerzo de la producción científica de Uniandes a partir del reconocimiento de la universidad y su efecto en el ingreso de los estudiantes de doctorado.

Como se había planteado anteriormente, el reconocimiento de la universidad es un factor clave al momento de atraer estudiantes y profesores. En este caso a Uniandes le interesa atraer estudiantes a sus programas de doctorado para fortalecer estos programas y porque encuentra en ellos un capital humano para la investigación. Se propone que los estudiantes de doctorado incrementan la tasa de producción de los profesores que los asesoran, dado que traen consigo nuevas ideas, redes, tecnologías, tiempo para investigar, entre otros; que finalmente reforzará la producción de documentos científicos.

Para Uniandes el reconocimiento de la comunidad científica es una manera de observar su capacidad de producir conocimiento. Este reconocimiento se ve reflejado en el número de publicaciones de la universidad en revistas registradas en las principales bases de datos bibliográficas del mundo, la distribución e índices de citación y la evaluación de la universidad en escalafones internacionales² [16].

Acorde con lo anterior, se plantea que las publicaciones de la universidad afectan su reconocimiento. Sin embargo, para el caso de los artículos, no todas las publicaciones tienen el mismo impacto y esto depende de la visibilidad de la revista. En este sentido, se plantean dos categorías de revistas (de alta y de baja visibilidad) según su factor de impacto medio normalizado (FIMN)³. De esta manera las publicaciones en revistas de alta visibilidad tendrán un mayor impacto en el reconocimiento y pueden incrementarlo por dos vías: la primera, por el reconocimiento directo que logra la Universidad al publicar en este tipo de revistas que cuentan con canales de comunicación de mayor visibilidad y son reconocidas en su área, y la segunda, relacionada con las citaciones que pueden recibir los artículos dado que las revistas con mayor factor de impacto son las que tienen un mayor número de citas promedio.

En este ciclo de refuerzo debe tenerse en cuenta que no todos los profesores de la Universidad están habilitados para asesorar estudiantes de doctorado, ya que deben cumplir con requisitos como tener título de

² Algunas de las bases de datos de interés son: ISI Web of Knowledge y Scopus, y los escalafones de universidades son: ARWU (Universidad Jiao Tong de Shanghai), QSTop Universities, Scimago y Merco.

³ El factor de impacto se define como el número de citas promedio obtenido por una revista, éste se construye en una ventana de tiempo de dos años. La visibilidad se propone como el factor de impacto de la revista normalizado con la media del factor de impacto por área ISI. Asumimos que un FIMN mayor a 1 corresponde a revistas de alta visibilidad.

doctor y una trayectoria como investigador⁴. Así los estudiantes doctorales sólo afectarán la tasa de producción de aquellos profesores habilitados.

Los profesores habilitados para asesorar tesis de doctorado generan un limitante en el número de estudiantes de doctorado que pueden ingresar y esta relación genera un balance en la tasa de producción.

Profesores y producción científica

El ciclo R2 muestra el refuerzo de la producción científica de la universidad por contratación de profesores de planta.

En el objetivo de tener una Universidad de calidad en la que se haga investigación de primer nivel, los profesores tienen un rol fundamental [13]. En este sentido la Universidad fomenta la continua formación académica de sus profesores y busca incrementar su profesorado de planta con personal altamente calificado.

Los estudiantes hacen parte del capital humano de la Universidad y aportan en la búsqueda de la excelencia académica. Uniandes tiene como uno de sus objetivos atraer y retener a los mejores estudiantes del país [10] y uno de los factores que interviene es el reconocimiento de la Universidad.

El reconocimiento de la Universidad no sólo afecta las personas que desean ingresar a programas doctorales sino también a los demás programas que ofrece. Este ingreso de estudiantes se relaciona directamente con los puestos-estudiante que se deben atender y dependiendo de la política de PE por profesor, esto influirá en la contratación de nuevos profesores que finalmente afectará la producción científica de la Universidad.

Tiempo de profesores dedicado a la investigación

El tiempo que un profesor dedica a investigar es un factor limitante de la producción científica de la Universidad. Sin embargo, acorde con la misión de la misma deben existir las estructuras docencia-investigación. En este sentido la Universidad busca “cubrir con la mitad del tiempo de su nómina la totalidad de los cursos, dejando a los profesores el resto del tiempo disponible para cumplir su segunda labor, que es la investigación” [13].

⁴ Profesores que no tengan título doctoral pero si una excelente trayectoria investigativa podrán ser habilitados para ser asesores [12].

El ciclo B1 captura la regulación entre las estructuras docencia-investigación, que puede verse afectada con el incremento de estudiantes en la Universidad.

Contratación de profesores

Los ciclos B2 y B3 definen la regulación del número de profesores de la Universidad por la carga docente. Estos ciclos están relacionados con el anterior, pues dependiendo de las políticas de carga académica para los profesores, la Universidad ajusta la contratación de profesores. Otro aspecto importante es el tipo de profesores que se contrata, ya que la Universidad tiene como una de sus metas institucionales incrementar la relación planta-cátedra.

En la contratación de profesores de planta la Universidad tiene como política contratar a profesores que tengan como mínimo una formación doctoral. Así mismo la Universidad invierte recursos para fomentar la investigación en los profesores que inician su carrera docente.

Estos profesores que están iniciando su carrera no estarían habilitados para dirigir a estudiantes doctorales, pero la Universidad ha definido incentivos para que estos profesores mejoren su trayectoria investigativa, avancen en el escalafón del ordenamiento profesoral y sean habilitados para asesorar tesis doctorales.

4. CONCLUSIONES

Las universidades son sistemas sociales complejos en los que diversos actores interactúan y toman decisiones. De esta manera modelos no dinámicos como los que se basan en indicadores no permiten describir y entender los procesos que se llevan a cabo en ésta como los relacionados con la investigación.

En este trabajo se construyó un modelo conceptual con base en Dinámica de Sistemas, que describe las estructuras de realimentación presentes en la investigación en la Universidad de los Andes. Este modelo permite observar que en el proceso de investigación se acumula capital humano y existen unas demoras asociadas que son importantes al momento de tomar decisiones. Finalmente, el modelo permite encontrar los aspectos relevantes de la relación producción científica de la Universidad y capital humano.

Acorde con el modelo, algunos aspectos relevantes al definir políticas de investigación son:

La carga docente o puestos-estudiantes que debe atender un profesor, ya que esto afecta el tiempo que los profesores dedican a investigar.

La relación planta-cátedra es también relevante, pues los profesores de planta son quienes dedican más tiempo a la investigación. En este tema las políticas y programas de formación docente también tienen un rol importante, ya que pueden incentivar la producción científica de los profesores, dadas las condiciones para pasar de una categoría a otra.

El fortalecimiento de los programas de doctorado contribuye a la producción científica de la universidad, dado que los estudiantes doctorales desarrollan una investigación durante el programa y se crean sinergias en la relación asesor-estudiantes que permiten incrementar la capacidad de investigación de la Universidad.

Los estudiantes doctorales pueden ayudar a disminuir la relación planta-cátedra, al tener una carga docente. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esto podría afectar el tiempo que dedican a investigar, lo que tiene implicaciones en las publicaciones de la Universidad.

Para fomentar el reconocimiento de la Universidad en las comunidades científicas se debe incentivar la investigación de calidad para lograr publicaciones en revistas de alta visibilidad. En el modelo sólo se tuvieron en cuenta las publicaciones, sin embargo para trabajos posteriores podría incluirse otro tipo de productos para identificar si existen otros ciclos de realimentación o variables relevantes.

Finalmente, los PE son una variable clave en el crecimiento de la Universidad, ya que un incremento de éstos, por un lado, regula la tasa de producción científica de los profesores por actividades académicas, y por otro lado, refuerza el staff de la Universidad. El incremento en el reconocimiento de la Universidad trae como consecuencia un mayor número de aspirantes para ingresar. En este sentido la Universidad tiene dos opciones: definir estándares más altos para que ingrese un número de estudiantes según el cupo disponible o aumentar los cupos disponibles, que trae consigo la necesidad de una transformación estructural de la Universidad, dado el incremento en el staff y recursos necesarios, lo que a su vez traería una mayor capacidad de producción intelectual. Este ciclo podría repetirse según las políticas de crecimiento de la Universidad.

Este modelo describe la relación entre el capital humano y la investigación en la Universidad de los Andes. Para trabajos futuros se busca incluir las otras categorías de capital intelectual.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de José Luis Villaveces, vicerrector de Investigación de la Universidad de los Andes, Camilo Olaya, profesor asociado del Departamento de Ingeniería Industrial y del Grupo de Investigación TESO, por sus comentarios y colaboración en la elaboración y validación del modelo.

4. REFERENCIAS

- [1] ALDANA, E. El rol de las universidades en el desarrollo científico y tecnológico: Informe 2010; Caso Colombia; Primera edición; Ril Editores; Santiago de Chile; 2010.
- [2] JIN, B., & Rousseau, R. Evaluation of research performance and scientometric indicators in China. En H. F. Moed, W. Glänzel, & U. Schmoch, Handbook of Quantitative Science and Technology Research. Kluwer Academic Publishers, 2005, pp. 497-514.
- [3] BORRERO CABAL, A. S. J., La universidad, estudio sobre sus orígenes, dinámicas y tendencias; 1era Edición; Editorial Pontificia Universidad Javeriana; 2008; Vol 7.
- [4] SAMIL, J, The Challenge of Establishing World-Class Universities; Mayol Ediciones; Washington; 2009.
- [5]. VILLAVECES, J. L. y Forero-Pineda, C.; "Cincuenta años de ciencia en Colombia 1955-2005", en: Fundación Alejandro Ángel Escobar-50 Años; Forero-Pineda, C.; Primera edición; Arfo editores e impresores; 2007; pp 97-136.
- [6] CINDA. (2010). El rol de las universidades en el desarrollo científico y tecnológico. (Primera ed.). Santiago de Chile, Chile: Ril, editores.
- [7] KENNED, M. (2002). An extended Taxonomy of System Dynamics Models of Higher Education. Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society , 28 July - 1 August (Palermo, Italy).

[8] SCHWANINGER, M. (2009). System Dynamics in the Evolution of the Systems Approach. En Encyclopedia of Complexity and Systems Science (págs. 8974-8987).

[9] STERNAN, J. D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/McGraw-Hill.

[10] Universidad de los Andes: PDI 2006-2010. Disponible en http://www.uniandes.edu.co/la_universidad/index.php, [citado 1 de Noviembre de 2010]

[11] UNIVERSIDAD DE LOS ANDES: La Universidad en cifras. Disponible en: http://planeacion.uniandes.edu.co/index.php?option=com_content&task=section&id=182, [citado 1 de Noviembre de 2010]

[12] UNIVERSIDAD DE LOS ANDES: Investigación. Disponible en <http://www.uniandes.edu.co/investigacion/index.php>, [citado 10 de Agosto de 2010]

[13] VILLAVECES, J. L. et al; La investigación en Uniandes 2007: elementos para una política. Vicerrectoría de Investigaciones; Ediciones Uniandes; 2008.

[14] VILLAVECES, J. L. et al; La investigación en Uniandes: construcción de una política. Vicerrectoría de Investigaciones; Ediciones Uniandes; 2010.

[15] BUCHELI, V., VILLAVECES, J. L. y DAZA, S.; Recursos Destinados a los procesos de investigación en la Universidad de los Andes. Una aproximación desde el capital intelectual; en: Villaveces, J. L. et al.; La investigación en Uniandes 2007: elementos para una política; Ediciones Uniandes, Bogotá, pp. 63-102

[16] BUCHELI, V., ZARAMA, R., y VILLAVECES, J. L.; Hacia el estudio del capital intelectual de Uniandes, la Universidad de los Andes (2007 y 2008); en: Villaveces, J. L. et al.; La investigación en Uniandes: construcción de una política. Vicerrectoría de Investigaciones; Ediciones Uniandes; 2010, pp 65-98.

[17] DE SOLLA PRICE, D. (1951). Quantitative Measures of the Development of Science. Archives Internationales d'Histoire des Sciences, Numéro 14, 86-93.

Modelo de regionalización para el manejo sostenible de los residuos sólidos municipales

Regionalization model for sustainable management of solid waste

Ing. Danny W. Ibarra V., MSc. Johan M. Redondo O., Esp. Carlos A. Peña R.

Universidad Sergio Arboleda, Línea de Investigación: Complejidad Ambiental

ingbiodanny@gmail.com
galileo@ima.usergioarboleda.edu.co
carlospena@ima.usergioarboleda.edu.co

Resumen. A partir de la ley de servicios públicos domiciliarios de 1994, se estableció en Colombia que cada administración municipal debía hacerse cargo de forma autosostenida de sus residuos sólidos. Esta imposición legal es inalcanzable para los municipios que no tienen el número suficiente de suscriptores del servicio de aseo. Como solución, el gobierno nacional propuso desde 2002 regionalizar la disposición de los residuos sólidos, pero a la fecha no hay una investigación rigurosa que ilustre sobre la forma correcta en que este ejercicio debería llevarse a cabo. En este artículo mostramos un modelo construido con la metodología de la Dinámica de Sistemas, para la regionalización y manejo sostenible de los residuos sólidos municipales en nuestro país, teniendo en cuenta como variables el número de suscriptores, la capacidad de disposición final adecuada y el retorno de inversión, siendo este modelo el primer resultado de nuestra investigación en dirección a ese propósito.

Palabras Clave: desarrollo sostenible, Dinámica de Sistemas, residuos sólidos, regionalización.

Abstract. From the Public Utilities Act of 1994, in Colombia was established in each local government should take charge of a self-sustained its solid waste. This legal requirement is unattainable for municipalities that do not have a sufficient number of subscribers of the cleaning service. As a solution, the proposed national government since 2002 regionalize solid waste disposal, but to date no rigorous research that illustrate the correct way in which this exercise should be carried out. In this article we present a model built with the methodology of system dynamics for regionalization and sustainable

management of municipal solid waste in our country, considering as variables the number of subscribers, the final disposal capacity and Returns investment, this model was the first result of our research towards this purpose

Keywords: solids waste, sustainable development, system dynamics, regionalization.

1. INTRODUCCIÓN

Como es bien sabido, el manejo de los residuos sólidos municipales representa un problema complejo, que integra conceptos ambientales, económicos, públicos, privados y sociales [1], a su vez, el aumento de los niveles de consumo están causando un incremento del problema, y la insensibilidad de la población frente a los temas ambientales hacen más difícil la solución [9].

Su adecuada gestión es responsabilidad de todos. Sin embargo, en la Ley 142 del 94 de Servicios Públicos se establece que una vez que los residuos son descartados por el generador, pasan a ser responsabilidad de los gobiernos locales [2], es decir, la responsabilidad de los municipios y distritos es asegurar que se preste a todos sus habitantes el servicio público de aseo de manera eficiente incluida la provisión de infraestructura para el servicio de recolección y disposición final de los residuos sólidos, sin poner en peligro la salud humana, ni utilizar procedimientos y métodos que puedan afectar al medio ambiente.

Debido a esto, un alto porcentaje de los presupuestos municipales se dedica al aseo urbano causando un déficit en las economías municipales [3]. A pesar de esta responsabilidad, los gerentes municipales o alcaldías responsables suelen carecer de conocimiento sobre los principios y técnicas del manejo de los residuos sólidos, lo que les impide tomar decisiones acertadas para hacer frente al problema de residuos urbanos. [7]

En Colombia actualmente se cuenta con información de disposición final de 1.088 municipios, (ver Tabla 1) los cuales generan aproximadamente 27.079 toneladas diarias de residuos. De estos municipios, el 69% (751 municipios) dispone en rellenos sanitarios o plantas de aprovechamiento con permisos ambientales, que equivalen a 22,819 del total de toneladas producidas a nivel nacional. El 31% restante dispone sus residuos sólidos de manera inadecuada [8]. De los 751 municipios que disponen adecuadamente, 653 disponen en 254 rellenos sanitarios (88.54% de la producción que equivale a 22.204 ton/día), y 98 en plantas integrales (2,5% de la producción equivalente a 615 ton/día). A 2008, existen 43 rellenos sanitarios regionales que atienden a 396 municipios, Los 337 municipios restantes (31%) disponen sus residuos en sistemas inadecuados tales como botaderos a cielo abierto, enterramientos, quemas y cuerpos de agua

Tabla 1. Sistemas de disposición final

Sistema de disposición final	2006		2008	
	No.	Municipios	No.	Municipios
Rellenos Sanitarios	195	543	254	653
Plantas Integrales de Aprovechamiento	34	68	59	98
Botaderos	360	395	283	297
Enterramientos	48	52	19	19
Cuerpos de Agua	19	20	8	10
Quemas	6	7	7	11
Total	662	1085	630	1088

Fuente: SSPD, Informe anual del Servicio Público de Aseo, 2008

Como vemos, la problemática del manejo de residuos y disposición final aún persiste en muchas poblaciones del país, y es una preocupación para el Estado y las administraciones locales. Por su parte, este servicio de disposición final requiere una escala mínima eficiente que está determinada por los altos costos hundidos en los que es necesario incurrir para la apertura, operación, mantenimiento, clausura y pos clausura del sitio de disposición final. Lo anterior hace pensar en las oportunidades que se derivan de la regionalización de la disposición final, particularmente para el caso de aquellos municipios

que no cuenten con un número de suscriptores suficiente para la prestación económicamente eficiente del servicio en condiciones sanitarias, técnicas y ambientales adecuadas [10].

Pese a las iniciativas del Gobierno Nacional para promocionar la regionalización de la disposición final de residuos sólidos, persiste oposición a nivel local por parte de las administraciones municipales y otros miembros de la comunidad, para la ubicación de rellenos sanitarios regionales y estaciones de transferencia que impiden el desarrollo de estos proyectos [9].

Por otro lado, es muy difícil que un relleno sanitario que se construye solamente para un municipio sea rentable y pueda tener autosostenibilidad, por eso el ser regional permite tres cosas importantes: primero, una economía de escala viable para este tipo de proyectos; segundo, generar un menor impacto ambiental y tercero, puede haber un mayor control de estos sitios de disposición final. Por esto es necesario impulsar esquemas de regionalización para el manejo conjunto de los residuos sólidos. [13]

La creación de esquemas regionales se asocia típicamente con el aprovechamiento de economías de escala y la proximidad geográfica de mercados, un fenómeno que se reconoce como economías de aglomeración y se presenta, por lo general, cuando la proximidad de los agentes de una determinada región estimula el intercambio de conocimiento, factores productivos y tecnologías. [4]

Con la metodología de la Dinámica de Sistemas se construyó un modelo general para tratar de entender sistémicamente el problema, dando lugar a la identificación de las siguientes variables: el número de suscriptores, el retorno de inversión y la capacidad de disposición final adecuada de los residuos.

Con este modelo vemos que la regionalización de residuos nos ofrece una alternativa sostenible para el manejo de los residuos sólidos municipales, en especial para aquellos municipios que no cuentan con los suscriptores suficientes como para tener retorno de la inversión realizada y no logran hacer un mayor aprovechamiento de los residuos.

Se planteó un modelo general que pudiera ser utilizado en cualquier esquema de regionalización posterior que incluya desde 2 hasta n municipios regionalizados, luego se presentan los resultados obtenidos en las simulaciones con el software Vensim™, y por último, se presentan algunas

conclusiones y recomendaciones acerca del modelo y del trabajo futuro.

adapta a este tipo de problemas sistémicos es la que nos ofrece la Dinámica de Sistemas.

2. METODOLOGÍA

Creación del modelo

Debido a la cantidad de factores que intervienen en la evolución y desarrollo del manejo de los residuos sólidos, se hace necesaria la implementación de una metodología que permita trabajar dicha complejidad. Una de las alternativas metodológicas que mejor se

Diagrama causal

A continuación se presenta el diagrama causal del modelo general (fig. 1) que se construyó para entender y analizar el funcionamiento del manejo de los residuos sólidos y el cambio de los factores que influyen en él, tales como el crecimiento urbano, los suscriptores, la capacidad de disposición final adecuada, la inversión el retorno de la inversión entre otros.

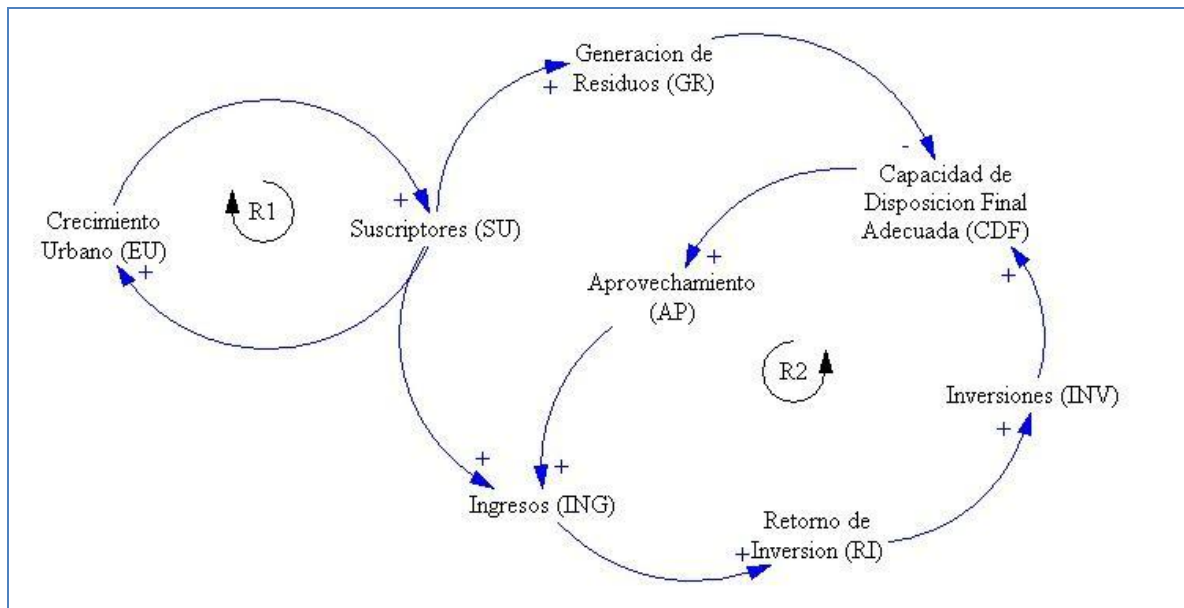


Figura 1. Diagrama causal general

Según la hipótesis dinámica planteada en el diagrama causal, el crecimiento de cualquier asentamiento urbano hace que se aumenten los suscriptores al servicio de aseo, entendiéndose el crecimiento urbano como expansión espacial y demográfica de la ciudad, ya sea por extensión física territorial del tejido urbano, por incremento en las densidades de construcción y población o como generalmente sucede, de ambos aspectos [12], y los suscriptores se definen como la persona natural o jurídica con la cual la persona prestadora del servicio de aseo ha celebrado un contrato de condiciones uniformes de servicios públicos; a su vez, el número de suscriptores genera ingresos por **los recaudos mensuales por concepto de tarifas del servicio de aseo** [11]. De igual manera, este incremento de los suscriptores nos lleva al aumento de la generación de

los residuos, los cuales, al incrementarse descontroladamente, hacen que la capacidad de disposición final adecuada disminuya.

Según la normatividad, la disposición final es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos, en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente [5].

Esta capacidad aumenta cuando se realizan las inversiones necesarias para una adecuada gestión, de tal manera, que se pueda hacer un mayor aprovechamiento de los residuos, este aprovechamiento es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo

económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje y la incineración, con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales o económicos [5]. El aprovechamiento de los residuos genera un ingreso económico que incrementa el retorno de las inversiones, entendiéndose éste como un estimado del beneficio (el retorno) sobre el dinero gastado (la inversión) en una alternativa en particular, y consiste en determinar los beneficios, calcular los costes y resumir los resultados.

El propósito es darle una mayor importancia a este proceso, no solo por su posibilidad de ingresos sino porque también reduce la cantidad de residuos a eliminar, ya que al reciclar y reutilizar, se puede reemplazar el uso de materias primas vírgenes por materia prima reciclada, de igual manera, se disminuye el consumo de combustibles no renovables como el petróleo y estaríamos contribuyendo con la

protección del medio ambiente. Este aprovechamiento de los residuos sería un negocio muy rentable si el gobierno creara unas condiciones institucionales para incentivar a la industria a fijarse en estos procesos que son económicamente muy viables [6].

3. REGIONALIZACIÓN PARA DOS MUNICIPIOS

En este diagrama causal se muestra la aplicación del modelo general para observar la estructura de la posible regionalización de dos municipios (Fig.2), de igual manera se podría aplicar para cualquier cantidad de municipios teniendo en cuenta los bucles de causalidad que cada municipio genera.

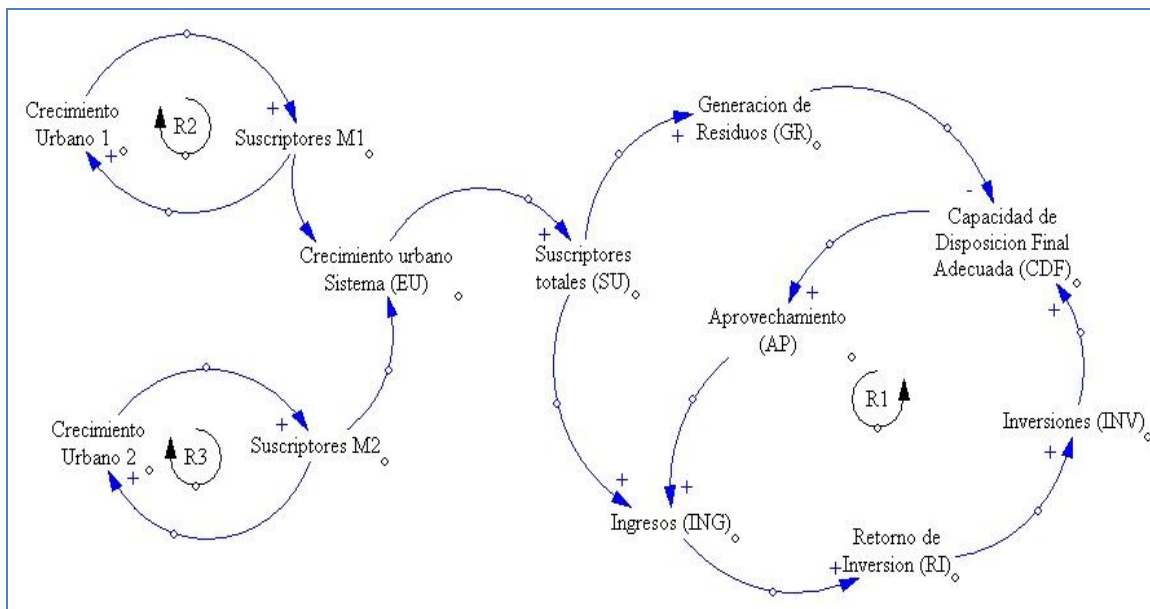


Figura 2. Diagrama causal regionalización, fuente los autores

En el diagrama causal propuesto para la regionalización de dos municipios se observa la aplicación del diagrama causal general con algunas modificaciones que le incluyen los bucles de crecimiento urbano para el M1 y el M2; el crecimiento urbano de estos municipios incrementa el número de suscriptores de cada uno, éste a su vez aumenta el crecimiento urbano del sistema regionalizado, lo que hace que los suscriptores totales se incrementen, permaneciendo de esta manera la

estructura básica propuesta en el diagrama general. Así mismo, se pueden adicionar los municipios que según los criterios de los gobiernos locales se puedan incluir dentro de la regionalización.

El diagrama de Niveles y Flujos (figura 3) construido a partir del diagrama causal de regionalización propuesto, muestra cuales son las variables y sus interacciones.

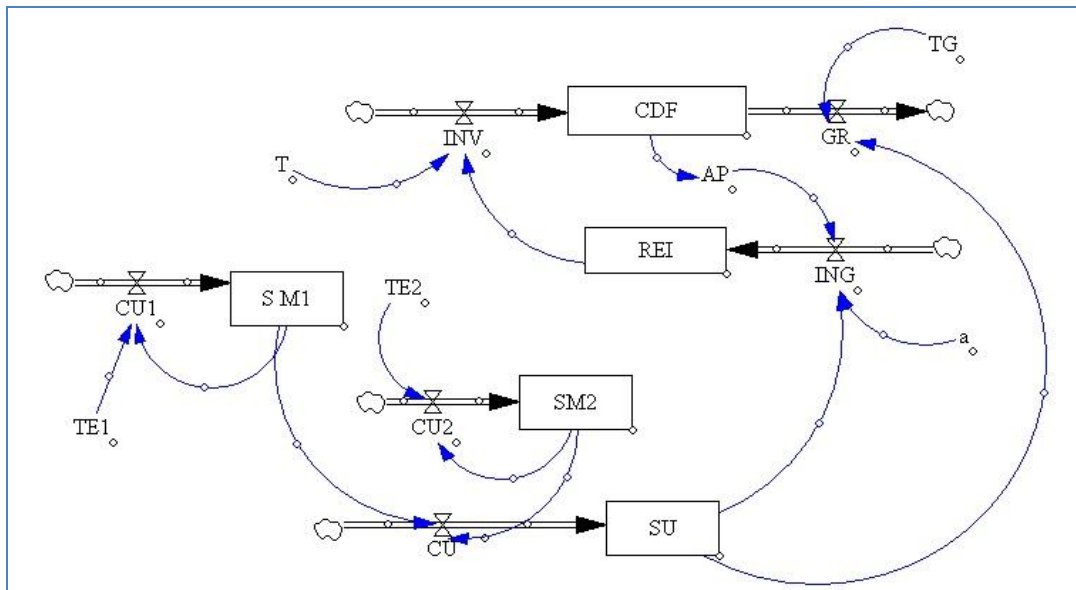


Figura 3. Diagrama de niveles y flujos de regionalización, fuente los autores

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de la aplicación del modelo (ver figuras 4, 5, 6, 7) que nos muestran a través de las simulaciones cómo es el comportamiento de las variables que afectan el modelo de regionalización de residuos sólidos.

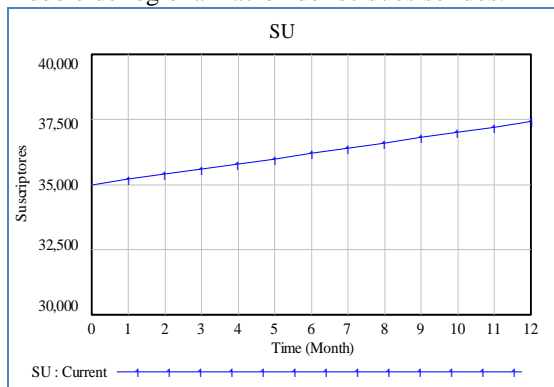


Figura 4 Suscriptores simulación 1

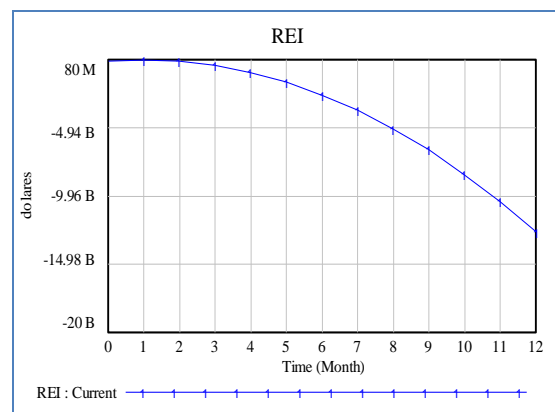


Figura 5 Retorno inversión simulación 1

En la figura 4 y 5 vemos el comportamiento del sistema con una cantidad de suscriptores pequeña y con una inversión baja, los suscriptores, ni su crecimiento son suficientes como para tener un retorno de inversión, pues al contrario, con el pasar de los meses éste empieza a descender, lo que causaría un detrimento en el presupuesto del sistema regionalizado. Este comportamiento se asemeja a la realidad, ya que como se mencionó anteriormente se deben buscar alternativas de gestión para aquellos municipios que no cuenten con un número de suscriptores suficiente para la prestación económicamente eficiente del servicio en condiciones sanitarias, técnicas y ambientales adecuadas.

En la figura 6 y 7 se observa el resultado de la misma simulación, pero esta vez con un número de suscriptores regionalizados mucho más alto. Nos permite observar el comportamiento que podría tener

el retorno de la inversión cuando aumentan los suscriptores y cuando se hacen ciertas inversiones mayores, como vemos en el décimo mes el sistema empieza a incrementar su retorno de inversión.

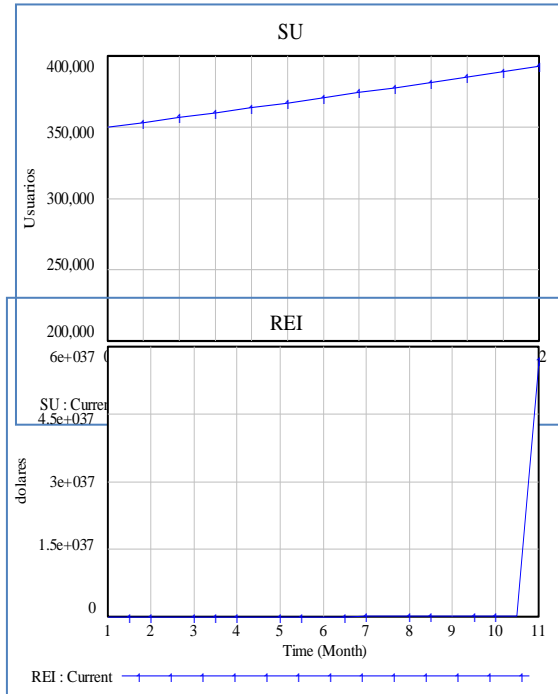


Figura. 7 Retorno de inversión, simulación 2

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El modelo nos permitió observar el comportamiento de las variables: Suscriptores y Retorno de la Inversión, por el cual vemos que la regionalización es viable para el manejo sostenible de los residuos sólidos municipales en nuestro país, siempre y cuando se logre tener el número de suscriptores que alcance una rentabilidad del sistema.

Es evidente que es necesario complejizar el modelo, ya que existe la necesidad de adicionar más atributos y conocer sus interacciones para tener un mayor entendimiento frente a otras situaciones que intervienen en el comportamiento de los esquemas de regionalización.

6. REFERENCIAS

[1] VÁSQUEZ, O. (2005). Modelo de simulación de gestión de residuos sólidos domiciliarios en Chile. Revista de Dinámica de Sistemas Volumen 1 número 1.

[2] PROARCA Programa Ambiental Regional Centroamérica (2003). Guía para le Gestión de Residuos Sólidos Municipales. Disponible en: <http://www.redrrss.pe/material/20090129005237.pdf> [citado 12 de oct. 2010].

[3] DÍAZ, L. F. SAVAGE, G. M. EGGERTH, L. L. and GOLUEKE, C. G. (1996). Solid Waste Management in Economically Developping Countries. ISWA, Denmark.

[4] SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS SSPD (2006). Informe Sectorial de los Servicios Públicos, Bogotá, Colombia.

[5] Colombia, Diario Oficial No. 44.893 de Agosto 7 de 2002, Decreto 1713 de 2002.

[6] SLIWA, K.R. (1994). Solid Waste Management in Puebla, a Systems Dynamic approach. System Dynamics conference

[7] SHEMELEV, S. E. and POWELL, J. R. (2005). Ecological–economic modelling for strategic regional waste management systems Shmelev.

[8] SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2008), Informe anual del Servicio Público de Aseo, p. 13. Información reportada por los prestadores del servicio de aseo al Sistema Único de Información, SUI

[9] ADAMIDES, ED. Mitropoulos, P. and Giannikos, I. (2009) Journal of the Operational Research Society 60, 758 --770 A multi-methodological approach to the development of a regional solid waste management system.

[10] BOTERO, E. C. (2005) Evolución del servicio de aseo domiciliario durante la última década. CEDE –Universidad de los Andes.

[11] RAMÍREZ, J. (2005) Régimen Legal del Servicio Público Domiciliario de Aseo Revista de Derecho, Universidad del Norte, 23: 213-239,

[12] MORA, J. R. (2003) Análisis del crecimiento urbano del gran área metropolitana de Costa Rica 1983-2000-(Tesis Maestría) Revista Geobuzon de Geografía y Ecología.

[13] ROJAS, L. (2009). Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial Colombia. Relleno Sanitario Regional en Santa Marta. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/contenido> [Citado el 15 octubre de 2010]

[14] AMENDOLA, L. (2005). Retorno de Inversión en la Gestión de activos, Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmne/w/bib/notas/BSC.pdf> [Citado el 30 de octubre de 2010].

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer el apoyo recibido por Álvaro Sánchez Ph.D., director del programa de Especialización en Gerencia del Medio Ambiente y Prevención de Desastres de la Universidad Sergio Arboleda, quien gestionó y promovió el espacio que nos permitió realizar este trabajo.

CURRÍCULUM

Johan Manuel Redondo. Ingeniero Ambiental. Especialista en matemática aplicada con énfasis en sistemas dinámicos. Magister en docencia e investigación universitaria con énfasis en matemáticas. Doctorando del programa de ingeniería automática de la Universidad Nacional. Coordinador del seminario de investigación del grupo de

complejidad ambiental de la Universidad Sergio Arboleda.

Carlos Arturo Peña. Físico de la Universidad Nacional. Especialista en matemática aplicada con énfasis en sistemas dinámicos. Doctorando del programa de ingeniería automática de la Universidad Nacional. Investigador de la línea de investigación en complejidad ambiental de la Universidad Sergio Arboleda.

Danny W. Ibarra Vega. Ingeniero Biotecnológico énfasis ambiental, especialización en Gerencia del Medio Ambiente y Prevención de Desastres, Investigador de la línea de investigación en complejidad ambiental de la Universidad Sergio Arboleda.

Marco de gestión del desempeño y riesgo desde la perspectiva del capital intelectual para apoyar la toma de decisiones

A performance and risk management framework from an intellectual capital perspective to support the decision making process

Carlos Mario Duque
Universidad Nacional de Colombia
carlos.duque@brmknow.com

RESUMEN: Este artículo tiene por objeto presentar un marco de trabajo novedoso, utilizando Dinámica de Sistemas para la gestión del desempeño y riesgo organizacional, considerando diferentes corrientes de medición del desempeño orientadas estratégicamente, lo mismo que diferentes aproximaciones a la valoración de activos intangibles y de riesgos, llegando a una propuesta genérica que espera contribuir al proceso de toma de decisiones en una organización, reflejado en la medición del desempeño y riesgo.

Palabras clave: riesgo, medición del desempeño, activos intangibles, capacidades, Dinámica de Sistemas.

Abstract: The objective of this article is to present a novel working framework, using system dynamics, for organizational performance and risk management. This article deals with different tendencies in strategically oriented performance measurement and with different approaches to the valuation of intangible assets and risk. The result is a generic proposal which it is hoped will contribute to the decision-making process within an organization, particularly in performance and risk measures.

Key words: risk, performance measurement, intangible assets, capabilities, system dynamics.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito organizacional la medición del desempeño y la medición del riesgo son dos aspectos estrechamente relacionados: el logro de los objetivos organizacionales y cómo las variaciones que pueden

afectar el logro de esos objetivos son medidas y gestionadas. Esta gestión de valores esperados y variabilidad hacen parte del devenir diario de las organizaciones y cada toma de decisión podrá consecuentemente afectar el logro de los objetivos estratégicos de la organización.

De la misma forma el proceso de toma de decisiones de las organizaciones se realiza sobre marcos de trabajo y medición que han venido evolucionando, buscando cubrir limitaciones tratadas con frecuencia por diversos autores, especialmente relacionados con la falta de orientación estratégica de dichas mediciones y la imposibilidad de analizar en forma integral los efectos de cada toma de decisión sobre el total de la organización, desarrollo que aunque se ha venido dando en relación con las mediciones y gestión del desempeño, no ha sido igualmente desarrollado respecto a las mediciones de riesgo, su integración y gestión.

[1] lo mismo que [2], plantean que las medidas de desempeño necesitan ser ubicadas en un contexto estratégico, que busquen más allá de la medición, tener un efecto en el desarrollo de lo que las personas hacen dentro de la organización, es decir como herramienta de comunicación que haga más consistente la acción y por consiguiente el logro de los objetivos estratégicos, donde se integren además de las mediciones de variables financieras, otro tipo de variables no financieras que se consideran las impulsadoras del desempeño financiero futuro, asociadas a las fuentes de creación de riqueza propias de la época (Figura 1).

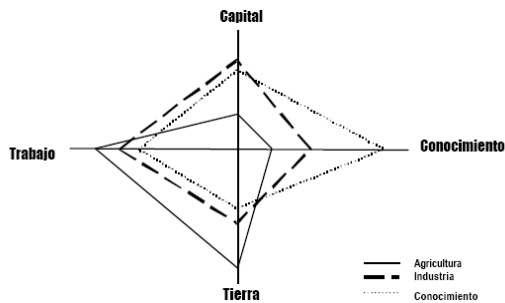


Figura 1. Fuentes de creación de riqueza [3]

General Electric fue la primera en implementar un conjunto balanceado de mediciones en los años 50, anterior a un enorme crecimiento en el interés por las mediciones de desempeño en los años 80 y 90. Este interés llevó a una plétora de marcos de medición diseñados para ayudar a las organizaciones a implementar un conjunto balanceado de mediciones [4].

[5] propusieron un marco clasificando las mediciones en dos tipos básicos: los relacionados con los resultados (competitividad y desempeño financiero) y aquellos que se enfocan en los determinantes de esos resultados (calidad, flexibilidad, utilización de recursos e innovación).

Igualmente han sido desarrollados otros marcos de integración, los cuales en algunos casos intentan complementar los inicialmente desarrollados, especialmente el *Balanced Scorecard*, incluyendo dimensiones no consideradas en este último, por ejemplo: competitividad, desempeño de los proveedores, impacto en la comunidad, protección del medio ambiente, etc.

Cabe señalar que estos primeros marcos de medición orientados estratégicamente, consideran una relación causal lineal sin retroalimentaciones, que tampoco permiten representar retardos, creando un escenario de análisis que obliga a la gestión partiendo de la lógica y modelos mentales de los tomadores de decisión. Más adelante se presenta cómo este problema ha sido abordado por algunos autores a partir del concepto de *Balanced Scorecard Dinámico*, cuya aplicación se ampliará a la gestión de riesgos.

El análisis de riesgos puede ser llevado a cabo con distintos grados de refinamiento dependiendo del tipo de riesgo y de la información histórica disponible. Los métodos de valoración pueden ser: cualitativos, semicuantitativos o cuantitativos o una combinación de éstos. El cálculo del riesgo se basa comúnmente en métodos estadísticos, por ejemplo, la cantidad de capital requerido para absorber pérdidas

considerando una probabilidad específica (Figura 2). Pero en muchos casos también incorporan métodos de análisis de sensibilidad basados en escenarios para medir la cantidad de capital económico que una firma pudiera necesitar para cubrir pérdidas potenciales que podrían asociarse con un conjunto dado de riesgos o actividades [6].

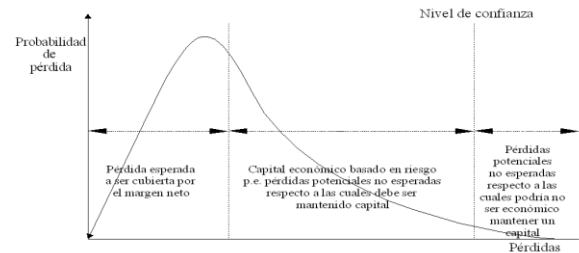


Figura 2. Capital económico

Las metodologías de valoración de riesgos se ven influenciadas por el tipo de riesgo que se pretenda valorar y de la industria en la que se encuentre inscrita una organización. En general dos tipos de riesgos relevantes son el riesgo de crédito y el riesgo de mercado, los cuales tienen metodologías ya maduras si se comparan con las metodologías para la medición y gestión de los riesgos operacionales.

Los sistemas en que las mediciones de riesgo son integradas deben tener también una orientación estratégica, que además de permitir el análisis del riesgo en el contexto de los resultados financieros inmediatos, permita hacer una evaluación sobre su efecto en los factores que reflejan la construcción de capacidades y la adquisición de activos intangibles necesarios para el crecimiento y sostenimiento futuro. Esta aproximación permite definir inicialmente la necesidad de hacer explícitos los riesgos en el marco de medición orientado estratégicamente para reflejar la información acerca de qué es lo que hace una organización y cómo crea o destruye valor. Y siendo consistentes con los modelos de medición orientados estratégicamente, considerar los generadores de valor para el negocio que son intangibles, elementos que también deben ser considerados en la evaluación de riesgos que se pretende adelantar.

Los modelos de Dinámica de Sistemas nos permitirán identificar tanto aquellas competencias específicas que nos facilitan un mejor desempeño y a gestionar el riesgo, como aquellos conceptos de índole general que nos permitirían obtener ventajas competitivas o evitar tener desventajas frente a otros competidores de la industria, no solo a nivel de competencias y

capacidades centrales sino de competencias y capacidades básicas.

1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El análisis de riesgo desde el punto de vista de su gestión, busca identificar oportunidades de mejoramiento o control en sus factores causales, no solo desde el punto de vista de su medición o las consecuencias o datos de pérdidas ya realizadas. Para identificar estas oportunidades de mejoramiento se debe analizar la organización desde su aspecto estratégico, modelo de negocio para la generación de valor y su implementación operacional.

Cuando se opera conscientemente desde un modelo de cómo un sistema completo de negocios trabajará, cada decisión, iniciativa y medición proporciona una importante retroalimentación. El modelamiento de negocios es en este sentido el equivalente gerencial del método científico: se inicia con una hipótesis, la cual es entonces probada en la acción y revisada cuando es requerido [7].

Para la construcción de un modelo de organización se parte de la consideración de diferentes aproximaciones presentadas en la literatura sobre estrategia, modelos de negocios para la generación de valor, así como los modelos de procesos y actividades. Se hace referencia específica a las estrategias para generar ventajas competitivas a partir de las relaciones de producto/mercado [8], las ventajas competitivas derivadas de la cadena de valor [9] y la visión basada en recursos y competencias centrales [10], [11], [12].

Este modelo de organización y de generación de valor se representa luego en un modelo de medición orientado estratégicamente y en un mapa estratégico que relaciona causalmente los diferentes objetivos estratégicos.

Como algunos autores sugieren, se utiliza la relación causal entre los objetivos estratégicos en las diferentes perspectivas de medición, para facilitar la incorporación de los conceptos de Dinámica de Sistemas.

En la Figura 3, se pueden observar algunas de las diferencias de modelar las relaciones causales con el *Balanced Scorecard* y su complemento con la Dinámica de Sistemas. En un esquema básico de *Balanced Scorecard* el énfasis se estaría haciendo en el efecto de la capacitación de los empleados en la destreza de los mismos, en las entregas oportunas y en la lealtad del cliente y de esta última en el

mejoramiento de los resultados financieros, en una relación unidireccional y sin considerar retardos. En el diagrama causal utilizando Dinámica de Sistemas, los costos de la capacitación tienen un efecto inmediato sobre los resultados financieros, mientras su efecto positivo considera retardos.

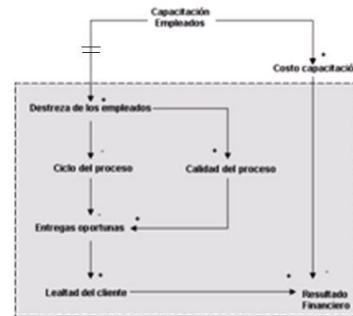


Figura 3. Diagrama causal para elementos del *Balanced Scorecard*, adaptada de [13]

Los enfoques para la interrelación de las mediciones de desempeño en un marco causal que represente las estrategias de negocio, es también aplicable a las mediciones de riesgo. [14] citando a Simons (2000), proponen utilizar dos *scorecards*, ambos ligados a la estrategia global, que pueden ser utilizados uno para monitorear las actividades de negocio y otro para resolver varianzas desfavorables, es decir, tener un *scorecard* específicamente para factores de riesgo. Esta propuesta considera entonces el contexto estratégico pero deja de lado el tratamiento matemático y estadístico más elaborado y no considera un modelo causal más allá del lineal unidireccional, que muestre los indicadores de riesgo en relación con la estrategia, el cual podría ser modelado dinámicamente.

La investigación que soporta este artículo busca que luego del establecimiento de las relaciones causales que reflejan una estrategia y un modelo de negocio, considerando variables de capital intelectual, su ajuste a partir del uso de la Dinámica de Sistemas, la descripción detallada de los procesos y la consideración explícita de los riesgos (Figura 4 y 5) y la actividad de simulación, lograr un mejor entendimiento estratégico de la organización permitiendo analizar diferentes opciones de mejoramiento, evaluando su impacto en el desempeño y riesgo de la organización en su conjunto. Esta actividad es parte del aprendizaje estratégico, ya que permite realizar nuevas definiciones de la estrategia y la manera como ésta se materializa en la organización. Este proceso será presentado mediante un caso de estudio.



Figura 4. Esquemas específicos de riesgo

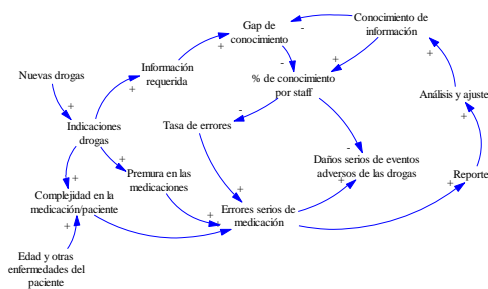


Figura 5. Representación explícita de riesgos [15]

1 CONCLUSIONES

La utilización de esta aproximación al modelamiento y gestión de riesgos ha permitido, en el ámbito de estudio, hacer explícitas interdependencias que no se consideraban en los modelos básicos de gestión estratégica.

El modelo permite demostrar el impacto en los objetivos estratégicos, de la no gestión de riesgos organizacionales, evidenciando la relevancia del desarrollo de capacidades y competencias organizacionales para su tratamiento.

El modelo mejora el aprendizaje estratégico, al ampliar el campo de gestión más allá de las variables de desempeño tradicionales y hacer explícitas otras variables que podrían impactar en forma importante el logro de los objetivos estratégicos de una organización.

2. REFERENCIAS

- [1] KAPLAN, R. and D. NORTON. The strategy-focused organization. Harvard Business School Press. Boston, Massachusetts, 2001.
- [2] NEELY, A., M. Gregory and K. Platts. Performance measurement system design, a literature review and research agenda. International Journal of Operations & Production Management, 15 (4), 1995.
- [3] SAVAGE Ch., DECWORLD Conference, The international trade show for Digital Equipment Corporation, Boston, Massachusetts, 1991.
- [4] NEELY, A., D. GRAY, M. Kennerley and B. Marr. Measuring Corporate Management and Leadership Capability, Centre for Business Performance, Cranfield School of Management, 2002.
- [5] FITZGERALD, L., R. JOHNSTON, S. BRIGNALL, R. SILVESTRO and C. VOSS. Performance Measurement in Service Business, CIMA, London, 1991.
- [6] The Joint Forum Working Group, Basel Committee on Banking Supervision. Trends in Risk Integration and Aggregation, August, 2003.
- [7] MAGRETTA, J., Why business Models matter, Harvard Business Review, May, 2002.
- [8] PORTER, M.E. Competitive Strategy, Free Press, New York, 1980.
- [9] PORTER, M.E. Competitive Advantage, Free Press, New York, 1985.
- [10] C. K. Prahalad, G. H. The Core Competence of the Corporation. Harvard Business Review, May. June 1990.
- [11] HAMEL, Gary and Prahalad, C.K. Competing in the New Economy: Managing Out of Bounds. Strategic Management Journal, 17(3), 1996.
- [12] BARNEY, J.B., Firm Resources and Sustained Competitive Advantage, Journal of Management, 17, 1991, pp. 99-120.

- [13] SCHOENEBOERN, F., Linking Balanced Scorecard to System Dynamics. 21st System Dynamics Conference, 2003.
- [14] CALANDRO, J. and L. Scott. Insights from the Balanced Scorecard: An introduction to the Enterprise Risk Scorecard. *Measuring Business Excellence*, 10 (3), 2006.
- [15] MCDONNELL, G. and Heffernan, M. The Dynamics of Hospital Medication Errors: A Systems Simulator Testbed for Patient Safety Interventions. 23rd International Conference of The Systems Dynamics Society, Boston, 2005.

EDUCACIÓN

Prácticas y aprendizajes con la Dinámica de Sistemas en la escuela colombiana

Practices and learning with system dynamics in the colombian school

Hugo Hernando Andrade Sosa MSc., Ximena Marcela Navas Garnica, MSc y
Gina Paola Maestre Góngora MSc., (C)
Universidad Industrial de Santander (UIS),
handrade@uis.edu.co, ximena_navasg@yahoo.com.mx, g.maestre@gmail.com

Resumen¹: Este artículo presenta una reflexión acerca de una experiencia de integración de la Dinámica de Sistemas (DS) en la educación básica y media colombiana desde el 2004 hasta el 2010, en el marco del acompañamiento educativo del programa Computadores para Educar (CPE) en 1.853 sedes educativas. Se pretende dar repuesta inicial a la pregunta ¿Qué hacen y qué logran los profesores al integrar la DS a sus prácticas escolares?, contemplando el impacto de llevar la DS a la educación, resultado del acompañamiento educativo en el marco del convenio CPE UIS, la diversidad de prácticas y practicantes de la DS, enfoques y propósitos de los aprendizajes con DS. Se presenta el contexto en el que se desarrolló la experiencia, la propuesta que guía la misma, una reflexión inicial de llevar la DS a la educación, las prácticas y los aprendizajes con DS más predominantes en las prácticas escolares desde diferentes perspectivas, la relación entre las prácticas y los aprendizajes escolares y las conclusiones generales.

Palabras Clave. Dinámica de Sistemas, educación, impacto, modelado y simulación, informática en la educación, Tecnología de la Información (TI)

ABSTRACT

Abstract— This article presents a reflection about an experience of integration of system dynamics (SD) in primary and secondary education in Colombia from

¹ Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelado y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática (EISI) de la UIS. Bucaramanga, Colombia; en el marco del Octavo Congreso Latinoamericano y Octavo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2010, Medellín. Mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON <http://simon.uis.edu.co/>

2004 to 2010 in framework of educational accompaniment Computadores Para Educar program (CPE) in 1853 schools. It aims to provide initial response to the question "What do and what teachers are able to integrate the DS to school practices?, Contemplating the impact of bringing the DS to education result of educational accompaniment UIS CPE, the diversity of practices and practitioners of the DS, approaches and purposes of learning with DS. The context in which it developed the expertise, experience leading proposal, an initial reflection of the DS to bring education, practice and learning with DS more prevalent in school practices from different perspectives, the relationship between practices and school learning and the overall conclusions.

Keywords— System Dynamics, education, impact, modeling and simulation, education with informatics, Information Technology (IT)

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos 15 años el grupo SIMON ha centrado sus esfuerzos en la difusión, el acercamiento y la integración de la Dinámica de Sistemas (DS) a la dinámica escolar de las sedes educativas desde preescolar hasta el más alto nivel universitario; en particular esta ponencia dará cuenta de las experiencias en la educación básica y media colombiana. Los primeros 10 años se centraron en el desarrollo de herramientas software para el modelado con DS (como EVOLUCIÓN²) y Micromundos de

² Herramienta software para el modelado y la simulación con Dinámica de Sistemas. Desde su primera versión, se destacan: Evolución 1.0, Evolución 2.0, Evolución 2.0a, Evolución 3.5 y Evolución 4.0 actualmente se encuentra en desarrollo su versión Evolución 4.5. Para más detalle

simulación para el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza (Macroproyecto MAC³), los cuales respondían a la necesidad de facilitar el acercamiento de este lenguaje de modelado a la comunidad educativa. Estas herramientas, en sus primeras versiones, se llevan a un grupo de escuelas muy reducido (principalmente en convenio con Ecopetrol⁴) en el marco de una primera Propuesta de Aplicación del Pensamiento de Sistemas y la DS en la Educación Media [1] y [2]. Teniendo a disposición estas herramientas software y la experiencia previa, desde el 2004 en el marco del programa Computadores para Educar⁵ (CPE), se promueve, a través de procesos de formación y acompañamiento a los profesores de las sedes educativas beneficiadas por el programa, el uso de la DS en sus prácticas escolares y en particular en el aula de clase.

CPE ha brindado un espacio a nivel nacional en las escuelas públicas, para que se lleve a la práctica esta iniciativa [3], se prueben los software y a su vez surja una “Propuesta informática para la educación en el cambio, basada en ambientes de modelado y simulación. Un enfoque sistémico” [4]; propuesta nutrida de las experiencias directas en las escuelas y orientada a guiar y facilitar la integración de la DS a la educación básica y media, aprovechando el espacio de intervención en la escuela, abierto por CPE para integrar la tecnología de la información (TI), la llegada de los computadores a las escuelas, las herramientas software desarrolladas en el interior del grupo SIMON y los recursos económicos y humanos para la formación y el acompañamiento de los profesores brindado por el Convenio CPE- UIS⁶.

http://simon.uis.edu.co/joomla/home/index.php?option=com_content&view=article&id=215&Itemid=92

³MACmedia 1.0 - Zafra y Villa, MAC 4-5 – Quitán y Bermúdez, MAC 6-7 –Navas y Benítez, MAC 8-9 – Dueñas y Rojas, MACmedia 2.0 –Sequeda y Torres y MAC 6-7 2.0 – Vargas y Guerrero, MAC Primaria- Anaya y Vera, MAC Secundaria- Cala y Tasco, MAC ambiental-Ortiz y Vargas

⁴ (Convenio ECOPETROL-UIS 2000); Empresa Colombiana de Petróleos, en convenio con la UIS, en los colegios El Rosario, Infantas, Parnaso y Miramar de Barrancabermeja.

⁵ Programa del Estado colombiano, cuyo objetivo es brindar acceso a la tecnología de información (TI), a las sedes educativas públicas del país; mediante el reacondicionamiento, ensamble, mantenimiento y donación de computadores; junto con el acompañamiento escolar para promover el uso y aprovechamiento significativo de la TI, en los procesos educativos, acompañamiento que se caracteriza por la diversidad de propuestas pedagógicas e informáticas por cada una de los orientadores (universidades y grupos de investigación) que guían el proceso.

⁶ Convenio suscrito entre el programa Computadores para Educar y la Universidad Industrial de Santander desde el 2004 para

Así mismo, la reflexión sobre las experiencias en este espacio de intervención, ha permitido compartir con la comunidad colombiana y latinoamericana la evolución de la propuesta guía de la integración de la DS en la escuela y diversas experiencias de su uso, principalmente a través de los encuentros colombianos y congresos latinoamericanos de DS, con planteamientos de miembros directos del grupo SIMON [5] - [11] y de algunos profesores de las sedes educativas que se han dirigido directamente a la comunidad colombiana y latinoamericana de DS, participando como ponentes⁷ y dinamizando el coloquio: La Dinámica de Sistemas en las escuelas colombianas.⁸

Del 2004 al 2010 el grupo SIMON ha acompañado 1.853 sedes de educación básica y media de la región Caribe y Santander, más de cincuenta mil profesores y alrededor de millón y medio de estudiantes, comunidad que ha escuchado de la DS y a diferentes niveles han venido aprendiendo, practicando y reflexionando acerca de su papel en la educación. Resultado de este proceso han surgido preguntas como: ¿Cómo debe ser una propuesta para llevar la TI y la DS a la escuela? ¿Cuáles son las posibilidades y limitaciones para incorporar al ambiente escolar el modelado y la simulación por computador, en el aprendizaje y desarrollo de las formas de pensamiento? ¿Cómo y con qué implementar la propuesta de llevar el modelado y la simulación a la escuela, en cada grado, desde preescolar a 11? ¿Con qué estrategias se puede promover la sostenibilidad de la incorporación de la DS en las escuelas colombianas? ¿Cómo incide el uso de los ambientes de modelado y simulación en el desarrollo de competencias laborales, específicamente las de toma de decisiones en la gestión de un sistema productivo? ¿Qué hacen y qué logran los profesores al integrar la DS a sus prácticas escolares? De estas preguntas se

el desarrollo de la formación y acompañamiento para promover la integración de la TI a la escuelas beneficiadas por el programa CPE.

⁷ Modelo de propagación del sida para la educación, Dora Escalante; Investigación y evaluación del aprendizaje de los educandos por medio del modelado y la simulación en contraste con el método tradicional, Yamil Pereira, Manuel Mejía (2008); Comprendiendo el ecosistema de la ciénaga de Balboa con Dinámica de Sistemas, Jenny Rosales; La Dinámica de Sistemas como herramienta de promoción de la conciencia ambiental y su articulación con el mundo productivo, Magola Manjarrez; Estudiando el principio de Arquímedes con DS, Nelvis de Alba, Jairo Martínez (2009)

⁸ Actividad desarrollada en el VI y VII encuentro colombiano de DS, donde participan profesores de instituciones educativas de básica y media, beneficiadas por el programa CPE, quienes comparten experiencias acerca de la incorporación del modelado y simulación con DS en la educación colombiana.

tienen respuestas siempre iniciales, surgidas tanto de la investigación como de la acción en la vida escolar.

Este artículo pretende dar repuestas iniciales a la pregunta ¿Qué hacen y qué logran los profesores al integrar la DS a sus prácticas escolares?, contemplando el impacto de llevar la DS a la educación resultado del acompañamiento educativo en el marco del convenio CPE-UIS, la diversidad de prácticas y practicantes de la DS, enfoques y propósitos de aprendizajes con DS.

En la primera sección se aborda de manera general la propuesta y la experiencia de llevar la DS a la escuela, en un segundo apartado se establece el marco conceptual de las prácticas y aprendizajes de y con DS, resaltando lo que caracteriza a cada uno de estos componentes. En las dos secciones siguientes se detallan y clasifican, desde diversas perspectivas, tanto las prácticas y los aprendizajes predominantes que se han observado durante seis años. Para finalizar se establecen relaciones entre las prácticas y los aprendizajes identificados previamente, para terminar con algunas conclusiones generales.

2 PROPUESTA Y EXPERIENCIA DE LA DS EN LA ESCUELA. Cerrando un ciclo de aprendizaje

La propuesta que ha guiado las acciones para la integración de la DS a la educación básica y media, se define en términos de un conjunto de lineamientos, productos del acto creador de proponer y del aporte de confirmación o refutación surgido de la reflexión sobre las experiencias propias y ajenas [12] - [16], es decir, del aporte enriquecedor del estudio y el análisis crítico de y desde la práctica y la experiencia [8].

Esta propuesta se ha construido en la reformulación del llevar la DS a la escuela y esta reformulación se ha constituido en propuesta, en la medida que ha servido para orientar el hacer y aprender acerca de la DS en la comunidad escolar [17]. Los planteamientos de la propuesta integran elementos conceptuales de la estrategia, metodológicos e instrumentales, identificando a quién va dirigida, quién la puede promover, qué pretende, junto con las consideraciones base que la motivan y fundamentan. [4]

De manera general la propuesta integra los elementos del Pensamiento Sistémico (PS), el Enfoque Pedagógico Constructivista (EPC), y el lenguaje de modelado de la DS, aplicable en un contexto donde la

vinculación de la TI en la escuela constituye un aporte innovador a la educación. [18]

La experiencia se ha desarrollado en el escenario creado por el proyecto CPE, el cual, en su dinámica de llevar la TI a la escuela, ha despertado en las comunidades educativas un gran interés por vincular el uso creativo del computador a sus proyectos escolares. Es decir, un escenario en el cual ha llegado el PC a la escuela y su comunidad tiene una amplia disponibilidad para su uso, junto a grandes expectativas por sus aportes al mejoramiento y a la innovación en las prácticas escolares.

El integrar la DS a la escuela, se ha desarrollado entonces con la guía de una “Propuesta informática para la educación en el cambio, basada en ambientes de modelado y simulación. Un enfoque Sistémico” [4], la cual a su vez promueve el uso de: Herramientas software como Evolución 3.5, Visor de Simulaciones, los MAC’s, junto con las orientaciones conceptuales y metodológicas que guían el desarrollo de actividades que involucran la DS en la práctica docente.

Teniendo en cuenta la propuesta que guía esta integración y las herramientas software disponibles, es importante destacar algunas consideraciones que se tienen presentes al llevar la DS a la escuela:

- La DS no se propone como un nuevo curso, materia, ni área de estudio para profesores ni estudiantes. Se asume en un proceso facilitador para integrar transversalmente el currículo.
- La DS se expresa como proceso facilitador e integrador, principalmente en la medida que facilita la construcción y reconstrucción de conocimiento en cada una de las áreas y, principalmente, en el construir o reconstruir explicaciones científicas de fenómenos complejos y en la experimentación con las mismas en términos de simulaciones, explicaciones que surgen con el aporte de diferentes áreas del conocimiento.
- La DS se asume en el contexto del modelado de enfoque estructural, proponiendo la construcción de la explicación científica en términos de un útil que sirve de modelo para responder preguntas sobre el fenómeno en estudio. Estas preguntas son principalmente sobre el devenir (dinámica) del fenómeno y se responden desde una explicación (en términos de un modelo) que contempla los elementos y las relaciones que determinan (Sistema) que lo que se aprecia suceder, suceda.
- La DS facilita la construcción de explicaciones

científicas en términos de modelos desde el paradigma dinámico sistémico (PDS) que considera básicamente que las cosas son siendo, son en su devenir, en su dinámica de ser y que son explicables en términos de sistemas o, como si fueran sistemas. Además, los lenguajes de modelado orientan la construcción del modelo con la rigurosidad y objetividad de las explicaciones científicas

- El modelado estructural facilita el proponer qué variables y relaciones son pertinentes para construir posibles representaciones (explicaciones, modelos) y de esta manera hacer pronósticos (respuestas mediante simulaciones), utilizar procedimientos, obtener resultados y verificar qué tan razonable son éstos en el escenario de simulación asumido (condiciones iniciales y parámetros). Formando así y mediante estas actividades, las competencias que permiten que el estudiante construya un conocimiento, lo sepa utilizar y tenga en cuenta factores de idoneidad como el cuándo y el por qué de las situaciones a las que se enfrenta.

La dinámica de intervención, en la cual se ha basado la propuesta, se puede apreciar en las figuras 1 y 2, en las cuales los ciclos de relaciones de influencia explican la dinámica que se genera con la intervención. La figura 1 está asociada a la metodología de investigación – acción que ha guiado en general el formular y el actuar con la propuesta [19].

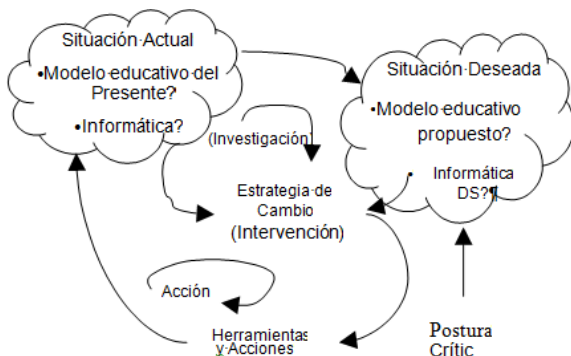


Figura 12. Metodología Investigación-Acción

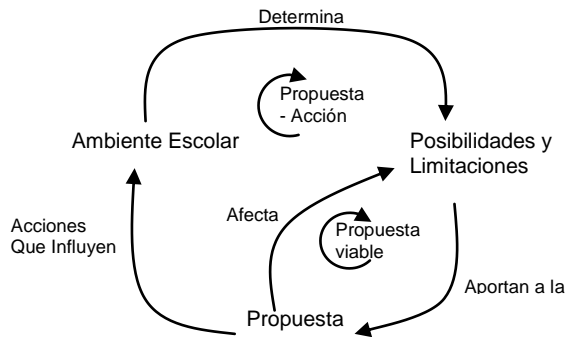


Figura 13. Intervención en la escuela

La figura 2 recrea el mismo enfoque de investigación acción pero centrándose en cómo la propuesta aporta a la transformación de la escuela (ambiente escolar) y cómo dicha transformación hace posible el cambio en las posibilidades y las limitaciones del integrar, con la guía de la propuesta, la DS a la escuela. Los dos ciclos de la figura 2, determinan la dinámica de formulación y reformulación de la propuesta con la influencia de la transformación de la escuela y ésta cambia en función de la propuesta en términos de sus prácticas y aprendizajes con DS.

Asumiendo la figura 1 y 2, en los dos casos la transformación de la escuela y de la propuesta, están en buena medida determinados por las prácticas y los aprendizajes con DS. Además, se cierra un ciclo cuando es posible reflexionar sobre esa transformación, con el aporte de las prácticas y los aprendizajes con DS.

3 PRÁCTICAS Y APRENDIZAJES CON DS EN LA ESCUELA. Resultado de la experiencia

En el contexto ya descrito, la reflexión acerca del impacto de la experiencia escolar de llevar la propuesta de integración de la DS a la educación, permite identificar las diferentes prácticas y los tipos de aprendizajes con DS en la escuela, develando qué se ha logrado y así aportar al reformular de la propuesta, en procura de renovar su significación y aplicabilidad al ambiente escolar.

Se entiende como *prácticas de y con DS* las diferentes actividades escolares desarrolladas en el marco de la integración de la DS a la escuela, promoviendo formación y aprendizajes en y con la intervención de miembros de la comunidad educativa y su entorno.

En cuanto al *aprendizaje*, se entiende como el proceso de construcción y reconstrucción de los modelos mentales del aprendiz, modelos que a su vez le orientan la comprensión y uso apropiado del conocimiento formal (explicación científica) [20] en este caso aprendizaje resultado de las prácticas de y con DS.

Teniendo en cuenta las nociones de prácticas y aprendizajes con y en DS y la experiencia de desarrollar la propuesta de integración de la DS a la escuela; las prácticas y aprendizajes con DS se caracterizan de manera general porque:

- El contexto en el que se aplica posibilita la práctica de y con DS y los aprendizajes apoyados con DS, en la medida que la comunidad educativa los aprecia como pertinentes y significativos académica, social y culturalmente.
- La DS se asume como una alternativa innovadora de uso e integración de la TI a las actividades escolares.
- La estrategia de integración de la DS a través de actividades lúdicas proporciona en los profesores confianza y seguridad en el uso de la DS en las prácticas escolares.
- La DS promueve un ejercicio y enfoque pedagógico renovador para el profesor y los estudiantes, fácilmente asociado al enfoque pedagógico constructivista.
- La DS aporta al desarrollo de las actividades escolares con pertinencia para asumir las orientaciones curriculares y las competencias que demanda el Ministerio de Educación Nacional (MEN).

Las anteriores consideraciones, reconocidas por proponentes y comunidad escolar, posibilitan diversas prácticas y aprendizajes inducidos por las alternativas que surgen de la propuesta y de la disponibilidad de los recursos a disposición de la comunidad que incluyen o excluyen prácticas y aprendizajes con DS, así como practicantes de y con DS en el contexto escolar.

4 PRÁCTICAS ESCOLARES CON DS

Las prácticas más destacadas y desarrolladas con mayor disposición por los profesores en las escuelas intervenidas con la propuesta, se pueden clasificar según los grados de escolaridad y las áreas del conocimiento.

4.1 GRADO: Los profesores, y la comunidad escolar en general, acostumbran asociar una u otra práctica y recursos, como pertinentes o no para uno u otro grado, una u otra edad, a la cual reconocen capacidades y necesidades de formación específicas. Se observan las siguientes tendencias de uso de la DS según los grados, así:

- *Preescolar y primaria (preescolar a 5to. grado):* Predomina el uso de actividades lúdicas como juegos para guiar el acercamiento a la DS y en particular promover el desarrollo del Paradigma de Pensamiento Dinámico Sistemático (PPDS) [7]. Como ejemplo: “El juego de la epidemia”, el “Juego de Entrada/Salida”, el “Juego de la Amistad”, el “Juego de las Conexiones” [21], el “Juego de entrada/salida con cargueros” [4], entre otras actividades lúdicas, con las cuales se busca facilitar el acercamiento al lenguaje de modelado y al paradigma, de una forma sencilla y divertida, al mismo tiempo que superar las barreras que enfrentan los nuevos usuarios de la DS. Para aprendizajes concretos en algunos grados, la inclinación es al uso de simuladores de tipo caja gris (se es consciente de la existencia del modelo y se sabe en general qué y cómo explica lo explicado).
- *Secundaria (6to a 11avo. grado):* Se caracterizan por promover aprendizajes concretos a través de experiencias guiadas por el conocimiento, es decir, aprender (conocimiento) a hacer (tecnológico) -experimentar (simulación), para apoyar el aprender sobre el fenómeno en estudio [22]. Por ejemplo: sobre el crecimiento de una planta, los cambios de estados de la materia, la dinámica poblacional de una especie, el efecto invernadero, entre otras [23].

4.2 ÁREAS: se aprecia que si bien la DS se plantea como una alternativa de integración transversal al currículo, participan más las áreas en donde el profesor la aprecia más pertinente y significativa. En este orden las áreas más receptivas a las actividades con DS son: Ciencias de la naturaleza, física, química, ambiental y matemática. En una menor proporción se realizan actividades en las áreas como ética y valores sociales, lengua castellana, educación física y otras. Teniendo presente que estas prácticas están muy potenciadas por los recursos (y la calidad de los mismos) que se coloquen a disposición de la escuela, es decir, un buen ejemplo con buenos materiales puede ser tan atractivo que posibilite

prácticas en áreas o grados donde comúnmente no se presentan.

4.3 PRACTICANTES DE LA DS: según el uso que les dan a los recursos (software, modelos) en las actividades escolares, se han identificado diferentes tipos de usuarios de la DS así:

- *Usuario consciente de la presencia de la DS en los simuladores:* sólo experimenta guiado por la interfaz (simulador). Corresponde con la simulación tipo caja gris y persigue un aprendizaje similar al que se logra por la experiencia directa, propia o ajena.
- *Usuario consciente del modelo:* lee modelos de DS, demanda modelos, experimenta con conocimiento del modelo. Corresponde con la simulación tipo caja transparente y aporta a un aprendizaje surgido de la experiencia guiada por el conocimiento que la explica con el modelo y recrea en las simulaciones.
- *Usuario dinámico sistémico:* reflexiona dinámica y sistémicamente, propone actividades con DS, lee, demanda y simula con conocimiento del modelo y su relación con el fenómeno que recrea.
- *Usuario modelador de DS:* reflexiona, piensa dinámico sistémicamente, construye modelos de DS y diseña actividades escolares con ésta.

4.4 TIPO DE ACTIVIDADES: se desarrollan diversos tipos de actividades, según los participantes y objetivos de las mismas, actividades que pueden ser promovidas por la propuesta y las actividades que la ilustran o que son desarrolladas por iniciativa de los profesores.

- *Clase integrada con DS:* Actividad en la cual se integra la DS y la informática a una disciplina en particular (p. ej.: Química, sociales, naturales) para la comprensión de una temática o fenómeno concreto en un grado en particular. Esta actividad le permite al estudiante leer e interactuar con una explicación dada, en términos de un modelo, y experimentar bajo ciertas hipótesis de escenarios, posibles o no, siendo consciente de la realidad recreada. Ejemplo de estas actividades son clases integradas acerca del cambio de estado de la materia (ciencias de la naturaleza), dinámicas poblacionales (sociales) entre otras.

- *Proyecto de aula:* Son proyectos transversales orientados a integrar áreas y conocimientos de un grado, asumiendo como objeto general de conocimiento una situación o realidad compleja posible de estudiar desde la perspectiva y los conocimientos de las diferentes áreas. En la medida que se aprende sobre una problemática común, se aprende de cada una de las áreas, con la profundidad abordable según el grado. La DS aporta una explicación general o diversas apreciaciones de la problemática de interés mediante uno o varios modelos y simuladores, facilitando la práctica interdisciplinaria propia de estas actividades.

Estos proyectos no son comunes por dos motivos, demandan materiales de DS exigentes en su elaboración, micromundos de simulación de la problemática de interés y la exigencia pedagógica junto con la práctica interdisciplinaria de los profesores vinculados a un grado. Esto implica que a menudo se desarrollan proyectos limitados a la participación de varias áreas aunque no todas, lo cual corresponde a una actividad integrada con la participación de más de dos áreas. En otros casos estos proyectos se manifiestan en términos de las actividades que un grado desarrolla en su participación en un proyecto institucional, o un proyecto productivo, de los cuales se presenta su noción a continuación.

- *Proyecto institucional:* proyecto que se promueve a nivel de toda la sede educativa (desde diferentes áreas y grados) y con proyección a su entorno social, un proceso de aprendizaje de una problemática que es de interés para los participantes, donde el aprendizaje escolar se guía con la explicación científica (con el apoyo de la DS) para la toma de decisiones que influyen en prácticas cotidianas [6]. Como ejemplo de estos proyectos ya desarrollados, se destacan: prevención frente al virus de la influenza AH1N1, cocinar - una acción individual con responsabilidad social, el efecto invernadero: un proceso que necesitas conocer para vivir en armonía con la tierra.⁹

- *Proyecto productivo:* son proyectos escolares que facilitan procesos educativos asociados al conocimiento y la gestión de sistemas productivos propios del contexto socioeconómico de la escuela; apoyados por el uso de la DS aportando al desarrollo

⁹ Para más detalle de estos proyectos consultar http://simon.uis.edu.co/redescuela/actividades/actividades_index_u.php

de competencias en el uso de la TI, la DS y competencias laborales. La DS se convierte en una herramienta que facilita y apoya la comprensión de fenómenos mediante la simulación, experimentando situaciones que no pueden hacerlo directamente porque existen limitaciones de tiempo y recursos. Por ejemplo: la cría de peces en un estanque, la gestión de pollos de engorde, los procesos agroindustriales, entre otros.

5 APRENDIZAJES ESCOLARES CON DS

Se describen los aprendizajes principalmente en los estudiantes que se logran con el uso de la DS en el ambiente escolar. Se clasifican por los objetivos de aprendizajes, las experiencias de aprendizajes y las competencias que se desarrollan cuando se usa la DS para apoyar las prácticas escolares.

5.1 OBJETIVOS DE APRENDIZAJES

- *Formación general:* se centra en incrementar el dominio del PPDS como guía para la introducción a la DS. Se desarrolla principalmente en los primeros grados y están orientados a la explicación de conceptos básicos de la DS (las nociones de sistema, cambio, flujo, nivel, realimentación), del pensamiento sistémico y de diversos fenómenos.
- *Formación para aprendizajes concretos:* fundamentalmente se refiere al uso de la DS para apoyar procesos de aprendizaje de temáticas o fenómenos particulares, coherentes con lo planteado en los currículos de cada una de las áreas y promoviendo el desarrollo de competencias en cada una de las mismas.

5.2 EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE: En cuanto a las experiencias de aprendizaje apoyado en DS se destacan tres posibilidades:

- *A la manera de una experiencia directa con el fenómeno:* sólo experimenta usando el simulador, simulación de tipo caja negra. Proceso de aprendizaje por prueba y error, se logra un conocimiento útil para operar efectivamente en escenarios particulares, se puede llegar a operar pero no a explicar, es decir, no se logra llegar a ser consciente del porqué actuar como se aprecia efectivo hacerlo, se logra el cómo actuar pero no el porqué, que lo aporta la explicación científica.

- *A partir de la experiencia real de otro:* observando la correcta operación del simulador por el usuario experimentado; es el caso de cuando el tutor le dice al aprendiz cómo operar pero no le aporta el porqué actuar de dicha manera, o de quien observa una operación correcta con el simulador y luego actúa en correspondencia, puede acertar en la operación con el instrumento, pero no puede dar cuenta de la razón de dicho acierto.
- *Con experiencias guiadas por el conocimiento:* un aprendizaje fundado en el conocimiento, un hacer con fundamento en el saber (tecnología); experimentación con el animador, con conocimiento del modelo que rige la simulación y del fenómeno simulado, simulación de caja transparente.

5.3 DESARROLLO DE COMPETENCIAS: el modelado y la simulación con DS permite vivir experiencias de aprendizaje constructivista (de construcción o reconstrucción de conocimiento), en las cuales se facilitan o promueven las tres competencias básicas en la educación:

- *Interpretativas:* el estudiante comprende e interpreta el modelo, que representa el fenómeno objeto de estudio, a través de: la identificación de los elementos que componen el modelo (flujos, niveles, objetos, reglas de interacción) y su relación. La experimentación con el modelo y el análisis del comportamiento del fenómeno.
- *Argumentativas:* el estudiante explica el porqué del fenómeno, a través de la experimentación simulada con el modelo, cómo funciona el modelo, verifica las hipótesis planteadas acerca del fenómeno estudiado, comprueba que los fundamentos teóricos del fenómeno sustentan el modelo planteado, articula los conceptos que sustentan el fenómeno con la experimentación simulada.
- *Propositivas:* el estudiante modifica el modelo (cambia parámetros, variables, escenarios) para generar otras hipótesis alrededor del fenómeno en estudio, construye modelos que le permiten representar un fenómeno.

6. RELACIÓN PRÁCTICAS Y APRENDIZAJES. Recursos, formación y practicantes

Es de resaltar la relación que hay entre las prácticas y los aprendizajes, ya que al promover algunos aprendizajes se potencia el desarrollo de ciertas prácticas. Por ejemplo: según el objetivo de aprendizaje (de formación general o aprendizajes concretos), se orientan prácticas por el grado o área en el que se desarrollan, así como el tipo de actividad a ejecutar (clase integrada, proyecto de aula, proyecto institucional o productivo).

Según la experiencia de aprendizaje, se potencian los practicantes de la DS, que pueden estar enmarcados en los grados en los que se desarrollan estas experiencias.

Según las competencias por desarrollar, se establecen los grados, áreas y tipos de actividades por desarrollar

De manera general se pueden contemplar otros aspectos que hacen viables las prácticas y los aprendizajes con DS. Como los medios o recursos, la formación en DS y el contexto escolar como se presenta en la figura 3.

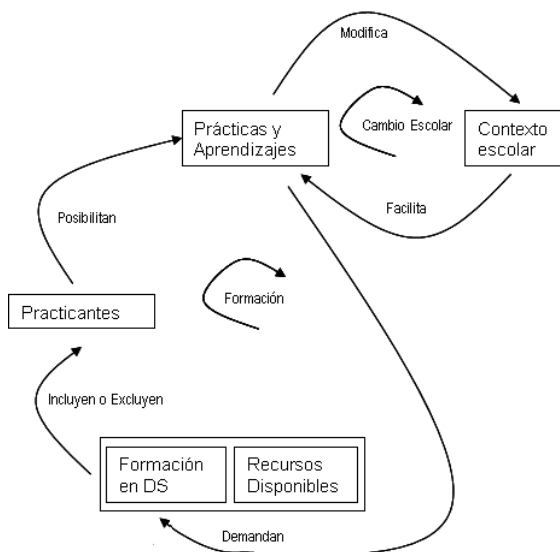


Figura 14. Prácticas y aprendizajes en el cambio escolar

7. CONCLUSIONES

En la medida en que se reconozca la diversidad en las prácticas y en los aprendizajes, para reformular la propuesta, se lograrán mejores niveles de formación, y con el apoyo de expertos de la DS se podrán mejorar y enriquecer las prácticas, haciéndolas más pertinentes al contexto escolar.

En la escuela, generalmente, las prácticas y los aprendizajes están orientados a la necesidad de dar cumplimiento a los estándares y currículos orientados por el MEN. Por esto, en la medida que el uso de la DS brinde y posibilite el cumplimiento de estos requerimientos, será más significativa y pertinente para el profesor.

El uso de actividades lúdicas para el acercamiento e integración de la DS en la escuela, se ha convertido en un elemento contextual fundamental para promover la práctica de y con la DS. Si bien predomina el componente lúdico en los primeros niveles escolares, también se usa en niveles superiores y en la formación docente. Se destaca el uso de diversos juegos (contextualizados culturalmente en la escuela practicante) o experiencias con simuladores que se caracterizan por el elemento lúdico y divertido.

8. REFERENCIAS

- [1] PARRA, Carlos. (1997). Propuesta de aplicación del pensamiento de sistemas y la Dinámica de Sistemas en la educación media. Trabajo de investigación, Universidad Industrial de Santander, maestría en Informática, UIS. Bucaramanga. Colombia.
- [2] ANDRADE, Hugo, & PARRA, Carlos. (1998). Esbozo de una propuesta de modelo educativo centrado en los procesos de pensamiento. IV Congreso Iberoamericano de Informática Educativa. Brasil.
- [3] MAESTRE, Gina. & ANDRADE, Hugo (2008). Acompañamiento educativo en el proceso de apropiación de la Tecnología de la Información por comunidades colombianas. - Proyecto Computadores para Educar. IX Congreso Iberoamericano de Informática Educativa. Caracas. Venezuela.
- [4] NAVAS, Ximena. (2006). Propuesta informática para la educación en el cambio, basada en ambientes de modelado y simulación. Un enfoque Sistémico. Trabajo de investigación, Universidad Industrial de Santander, Maestría en Ingenierías.

Área informática y ciencias de la computación. UIS, Bucaramanga. Colombia.

[5] ANDRADE, Hugo, & LÓPEZ, Giovanni. (2009). Red de aprendizaje para el modelado y la simulación en la escuela colombiana. Séptimo Congreso Latinoamericano y Séptimo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Santa Marta. Colombia.

[6] ANDRADE, Hugo, & MAESTRE, Gina. (2009). La Dinámica de Sistemas en la escuela, construyendo modelos mentales para la toma de decisiones cotidianas. Séptimo Congreso Latinoamericano y Séptimo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Santa Marta. Colombia.

[7] _____, _____, & LÓPEZ, Giovanni. (2008). La lúdica y las redes humanas para promover la sostenibilidad de la Dinámica de Sistemas en la escuela. Sexto Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Santiago de Chile. Chile.

[8] ANDRADE, Hugo, & NAVAS, Ximena. (2008). Propuesta para la difusión de la Dinámica de Sistemas en la escuela. En Dinámica de Sistemas, casos y aplicaciones en Latinoamérica (págs. 116-154).

[9] _____, & _____. (2007). Una experiencia de difusión de la Dinámica de Sistemas en la educación de 1 a 11 grado – hacia la construcción de una propuesta. Quinto Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Buenos Aires. Argentina.

[10] ANDRADE, Hugo, MAESTRE, Gina, & GOMÉZ, Merly. (2007). Posibilidades y limitaciones para llevar la Dinámica de Sistemas a la escuela. Una experiencia colombiana. Quinto Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Buenos Aires. Argentina.

[11] ANDRADE, Hugo, & NAVAS, Ximena. (2005). Ideas para una Dinámica de Sistemas en la Educación desde el primer grado. Tercer Congreso Latinoamericano y Tercer Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Cartagena. Colombia.

[12] FORRESTER, Jay. (1997). “System Dynamics and K-12 Teachers”. Massachusetts. Institute of Technology Cambridge, MA, USA.

[13] _____. (1999). “System Dynamics: The Foundation under Systems

Thinking”. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA, USA, June.

[14] GOULD-KREUTZER, Janet M. (1993). Foreword: System Dynamics in Education. System Dynamic Review Vol. 9. No. 2, pp. 101-112. Summer

[15] DAVIDSEN, P; BJURKLO, M; WIKSTRÖM, H. (1993). Introducing system dynamics in schools: the Nordic experience. System Dynamic Review Vol. 9. No. 2, pp. 165- 181. Summer.

[16] Convenio Computadores para Educar-Universidad Industrial de Santander. Etapa de formación y acompañamiento. 2004-2010.

[17] ANDRADE, Hugo, & GÓMEZ, Luis. (2009). Tecnología informática en la escuela. Bucaramanga: Cuarta Edición. Ediciones UIS.

[18] ANDRADE, Hugo y NAVAS, Ximena. (2003). La informática y el cambio en la educación. Una propuesta ilustrada con ambientes de modelados y simulación con Dinámica de Sistemas: Proyecto MAC. Primer Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Monterrey, México.

[19] CHECKLAND, Peter; J. Scholes. (1990) “Soft System Methodology in Action”. Editorial John Wiley and sons, Chichester

[20] ANDRADE, Hugo & NAVAS, Ximena. (2002). Ingeniería de sistemas -realidad virtual y aprendizaje. UIS Ingenierías, Revista de la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Volumen 1, No. 1, Páginas 3-9 ISSN 1657 - 4583.

[21] QUADEN, R., Alan, T., & Debra, (2004). The Shape of Change. Masachusetts: Creative Learning Exchange

[22] ANDRADE, Hugo (2007). ¿Cómo y con qué implementar la propuesta de llevar el modelado y la simulación a la escuela, especificando a nivel de cada grado, de kínder a 11 grado? Informe de Investigación - Convenio CPEU-UIS, Universidad Industrial de Santander, Grupo SIMON de Investigación, Bucaramanga. Colombia.

[23] ANDRADE, Hugo, & GÓMEZ, Luis. (2009). Tecnología informática en la escuela. Pag. 202, 226 Bucaramanga: Cuarta Edición. Ediciones UIS.

HUGO HERNANDO ANDRADE SOSA

Profesor titular de la UIS en el área de Pensamiento sistémico y modelado matemático y simulación con Dinámica de Sistemas. Investigador, co-investigador y director de más de 100 tesis y trabajos de grado a nivel de magíster, especialización y pregrado, así como autor de más de 70 publicaciones en diferentes eventos y medios de orden nacional e internacional, en relación con los fundamentos y la aplicación del pensamiento sistémico y en particular en modelamiento y simulación con Dinámica de Sistemas y modelado basado en objetos y reglas. Es el director y fundador del grupo SIMON de investigación (UIS), miembro de la System Dynamics Society, miembro de la Comunidad colombiana y de la latinoamericana de Dinámica de Sistemas y, coordinador general del convenio CPE-UIS (2004 – 2010).

XIMENA MARCELA NAVAS GARNICA

Ingeniera de Sistemas y Magíster en Ingenierías-Área Informática y Ciencias de la Computación de la Universidad Industrial de Santander. Co-investigadora del grupo SIMON y codirectora de 4 trabajos a nivel de pregrado, así como autora de 11

publicaciones en diferentes eventos y medios de orden nacional e internacional, en relación con el Modelado y simulación de enfoque estructural y la informática educativa. Miembro de la Comunidad colombiana y de la latinoamericana de Dinámica de Sistemas. Auxiliar docente en la Asesoría en Informática Educativa a los colegios de ECOPETROL (Barrancabermeja), convenio UIS-ECOPETROL, así como integrante del equipo coordinador convenio CPE-UIS.

GINA PAOLA MAESTRE GÓNGORA

Ingeniera de Sistemas y Candidata a Magister en Ingenierías-Área Informática y Ciencias de la Computación, de la Universidad Industrial de Santander. Co-Investigadora del grupo SIMON en la línea de Modelado y simulación de enfoque estructural e informática educativa y codirectora de tres trabajos a nivel de pregrado, así como autora de 10 publicaciones en diferentes eventos y medios de orden nacional e internacional. Miembro de la Comunidad colombiana y de la latinoamericana de Dinámica de Sistemas e integrante del equipo coordinador del Convenio Computadores para Educar- Universidad Industrial de Santander 2006-2010.

Sistemas de inferencia difusa en el modelado con conocimiento aproximado¹

Fuzzy inference systems in modeling with approximate knowledge

Hugo Andrade Sosa, MSc, Guillermo Luque y Guzmán S., Ing., Emiliano Lince M., MSc.
Grupo SIMON de Investigación en Modelado y Simulación¹
simon@uis.edu.co

Resumen: En el modelado con Dinámica de Sistemas a menudo se presentan situaciones con conocimiento aproximado o subjetivo que ocasionalmente condiciona la capacidad de intervenir sobre el fenómeno modelado. El uso de sistemas de inferencia basados en lógica difusa constituye un acercamiento formal para trabajar con conocimiento aproximado cuando el resultado requiere ser cuantitativo. En este documento se expone una alternativa para expandir la funcionalidad del diagrama de influencias en Dinámica de Sistemas mediante una estrategia que haga viable la generación y aplicación de sistemas de inferencia difusa para procesar información imprecisa con propósitos de intervención cuantitativa sobre el fenómeno modelado.

Palabras Clave: Dinámica de Sistemas, conocimiento cualitativo, modelado con conocimiento aproximado, lógica difusa, sistemas de inferencia difusa, toma de decisiones.

Abstract: System Dynamics modeling often present situations with approximate or subjective knowledge that occasionally affects the ability to decide about the phenomenon modeled. The use of inference systems based on Fuzzy Logic is a formal approach for working with subjective knowledge when the inputs or the result needs to be quantitative. This paper presents an alternative to expand the functionality of the influence diagram in System Dynamics through a strategy that makes feasible the generation and application of Fuzzy Inference

Systems to process inaccurate knowledge for purposes quantitative intervention on the phenomenon modeling.

Key words: System Dynamics, subjective knowledge, modeling under uncertainty, fuzzy logic, fuzzy inference systems, decision making

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo aborda el problema del modelado con Dinámica de Sistemas – D.S. donde ciertos elementos o relaciones entre éstos presentan rasgos o características que los hacen susceptibles a una interpretación cualitativa, dada la presencia de conocimiento aproximado de la situación, los cuales pueden resultar relevantes para el caso en el que el propósito del modelo sea intervenir de forma precisa, medible, cuantitativa sobre el fenómeno modelado. Para ello, se propone el uso de sistemas de inferencias basados en lógica difusa - FIS, fomentado por la capacidad de la lógica difusa de proveer un marco de trabajo para el tratamiento preciso de la incertidumbre; es decir, una aproximación formal al tratamiento de información imprecisa o aproximada debida a interacciones entre elementos de un sistema y no a fenómenos aleatorios. Inicialmente se presentarán algunas definiciones útiles para el desarrollo de un caso de modelado donde situaciones de conocimiento aproximado serán identificadas y modeladas tanto de la manera tradicional como con el uso de sistemas de inferencia difusa. Se presentará un caso en particular que será atomizado y analizado, aplicando una nueva técnica de modelamiento cualitativo y posteriormente se presentarán las conclusiones y algunas recomendaciones para aumentar las posibilidades del modelado en una Dinámica de Sistemas cualitativa, con el uso de artefactos basados en lógica difusa.

¹ Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del Grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia; en el marco del 8° Congreso Latinoamericano y 8° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, 2010, Medellín. Mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON <http://simon.uis.edu.co/>

2. LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa hace viable el tratamiento matemático de información imprecisa o aproximada mostrando la capacidad de tolerar la pertenencia parcial de un elemento a un conjunto dentro de un universo del discurso². Dicha pertenencia está graduada por una función de membresía, la cual puede ser definida en función de la perspectiva del modelador y en conjunto brindan una salida para incorporar a un problema la presencia de variables lingüísticas, esto es, variables cuyo posible conjunto de valores pueden únicamente expresarse en lenguaje natural.

La lógica difusa se sustenta en una adaptación de la lógica convencional a un escenario donde la naturaleza de un conjunto clásico se ha extendido para permitir la representación de la pertenencia parcial de un elemento al mismo. Un conjunto difuso es una clase de objetos con un grado de membresía o pertenencia continuo (1). Un subconjunto A del universo del discurso U está caracterizado por una función de membresía $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$ la cual asocia a cada elemento x de U un valor $\mu_A(x)$ en el intervalo continuo $[0,1]$ el cual representa el grado de pertenencia o membresía de x en A . Concebir la posibilidad de graduar la pertenencia brinda la posibilidad de expresar un fenómeno en términos comprensibles o cercanos al lenguaje natural, especialmente en situaciones que conllevan al sacrificio de la exactitud o precisión a favor de la significancia. Una forma de expresar tal asociación es mediante la utilización de variables lingüísticas, esto es, variables cuyos valores son palabras, a la vez representadas por conjuntos difusos.

3. SISTEMAS DE INFERENCIA DIFUSA

Un sistema de inferencia basado en lógica difusa es capaz de tratar simultáneamente con variables numéricas y con variables lingüísticas de modo formal; es decir, matemáticamente coherente. Las variables numéricas, que son las más habituales, se caracterizan por disponer de un valor numérico, descriptivo. Las lingüísticas, por el contrario, se caracterizan por un adjetivo que las califica. Los sistemas difusos se basan en el mapeo no lineal de un conjunto vectorial de datos de entrada en un conjunto escalar de salida y cuyas especificaciones son

² El universo de discurso es también llamado conjunto universal, se trata de la clase más amplia al formar parte de ella todas las clases de los individuos u objetos que se hayan tomado de referencia.

determinadas por la teoría de conjuntos difusos y la lógica difusa.

Un sistema de inferencia difuso puede expresarse como una combinación lineal de funciones de base difusa, y es un aproximador universal no lineal de funciones, propiedad que comparte con el perceptrón multicapa (2). El desarrollo en funciones de base difusa es significativo porque éstas pueden obtenerse a partir de datos numéricos o bien a partir de conocimiento lingüístico previo.

Un sistema difuso posee cuatro componentes: una base de reglas, un convertidor de variables cuantitativas en lingüísticas, un motor de inferencia y un convertidor de variables lingüísticas en cuantitativas.

El convertidor de variables cuantitativas en lingüísticas³ mapea números convencionales en conjuntos difusos, lo cual es necesario para activar reglas que están en términos lingüísticos, y que tienen conjuntos difusos asociados con ellas. El motor de inferencia mapea conjuntos difusos en conjuntos difusos y se encarga de combinar las reglas. El convertidor de variables lingüísticas en cuantitativas mapea conjuntos difusos en variables numéricas.

Las reglas, que pueden ser facilitadas por expertos o bien ser deducidas a partir de los datos de entrada son una colección de sentencias SI – ENTONCES (IF-THEN), por ejemplo: '*si A está caliente y B está bajo, entonces C gira algo hacia la izquierda*'. La formulación de reglas de un sistema difuso devela que se hace necesario tener conocimiento de la correspondencia entre variables lingüísticas y valores numéricos de una variable, así como de la cuantificación de variables lingüísticas, lo cual se consigue mediante la determinación adecuada de funciones de membresía (3).

4. LÓGICA DIFUSA Y DINÁMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas como expresión del pensamiento sistémico facilita la comprensión de un fenómeno a partir de su abstracción o modelado centrado en la identificación de estructuras causales que emergen del análisis de los componentes relevantes del fenómeno y su interrelación endógena y exógena (4) (5), asistido de un lenguaje de representación formalmente establecido (6). Si el propósito del modelado trasciende la mera

³ También es denominado como fuzzificador o difusor. El convertidor inverso es denominado defuzzificador.

comprensión del fenómeno, el proceso de identificación de cualidades o atributos de los elementos del sistema debe extenderse hacia la medición de dichas cualidades. Cuando esta medición se realiza en función de la armonía de un conjunto de elementos, y acorde a la perspectiva del usuario, emerge el concepto de cualitatividad. Como se ha expuesto, la teoría de conjuntos difusos supone una alternativa para la representación formal de este proceso de medición, por tanto, puede incorporarse al modelado en Dinámica de Sistemas como una posibilidad para asumir el tratamiento de la cualitatividad.

Investigaciones realizadas en el grupo SIMON han permitido esbozar un camino para el modelado usando lógica difusa, asumiendo un enfoque de integración de componentes de lógica difusa en EVOLUCIÓN 4.0(7), la herramienta de modelado utilizada para el desarrollo de las actividades de modelado en este artículo (8) (9).

5. SITUACIONES CON CONOCIMIENTO APROXIMADO

El modelado se da al formalizar una imagen o modelo mental del fenómeno a una versión simplificada del mismo, en un proceso incremental y no exhaustivo, pero cuyo comportamiento sea símil al manifestado por el fenómeno. En este proceso, continuamente emergen situaciones que no se desean abordar por cuanto exceden la percepción de la estructura básica del fenómeno, por lo que tradicionalmente son prácticamente conminadas a ser tratadas como variables exógenas o asociaciones no lineales. Tales situaciones son las que consideramos poseen conocimiento aproximado o información imprecisa, no aleatoria. El enfoque tradicional de modelado las simplificaría en exceso siendo que ellas pueden ser mejor expresadas en términos lingüísticos, por tanto su debido tratamiento aportaría información significativa al modelo, la cual es vital cuando el propósito o contexto sobre el cual se modela es el de intervenir sobre el fenómeno modelado de forma cuantitativa (10).

6. PRESENTACIÓN DEL CASO

Para efectos de esta ponencia se va a proceder a aplicar una alternativa de modelamiento cualitativo a un caso particular desprendido de uno más general, que representa la problemática urbana y una de sus manifestaciones, la dificultad de transporte, y que es ampliamente expuesto en (4). En dicho modelo se consideran diversos elementos de la dinámica del

problema de la congestión vial (e.g. los autos, las vías, los recursos disponibles). En la **Fig. 1** se muestra el diagrama de influencias para el modelo general. En él se pueden apreciar, en color azul, las relaciones de información, y en color negro, relaciones de información entre los elementos del sistema, así como la naturaleza de los ciclos de realimentación detectados, cuyo efecto o sentido del cambio es expresado por los signos (+,-).

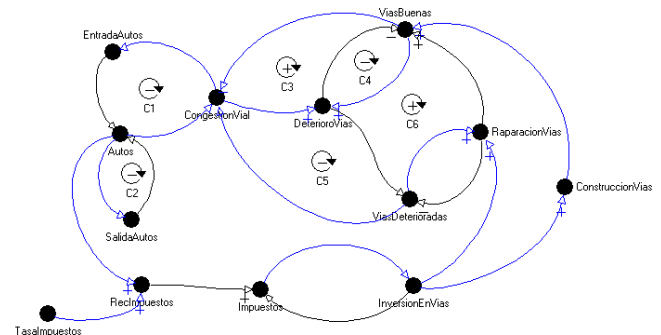


Fig. 1: Diagrama de influencias para el problema de la congestión vial

7. ANÁLISIS CONVENCIONAL

Una inspección del diagrama de influencias nos hace ver la dinámica de diversas situaciones tales. Así, por ejemplo, el tamaño del parque automotor está determinado por la entrada de autos, que a la vez es influenciada por la congestión vial. Asimismo, la salida de autos del parque automotor es determinada por la vida útil de autos, así como por una variación en las políticas de impuestos. Por otro lado, la malla vial puede verse compuesta por vías en buen estado que aumentan debido a la construcción de nuevas vías y por la reparación de vías deterioradas. Las vías en buen estado se deterioran fundamentalmente por el tiempo de vida de las vías y la congestión vial en las mismas debido al uso.

Los recursos disponibles, producto del recaudo de impuestos al parque automotor, son invertidos tanto para la construcción de nuevas vías, como en la reparación de vías en mal estado. La distribución de los recursos para estas dos acciones está determinada por la política de inversión seleccionada, para este modelo se prioriza en la reparación de vías de acuerdo a una tasa de reparación, el dinero restante es invertido en la construcción de nuevas vías. Para sostener la inversión, se hace uso de impuestos aplicados al parque automotor.

Hasta este punto se ha presentado una interpretación del diagrama de influencias para disponer de una

interpretación estructural y de comportamiento de la situación problema.

Dicha interpretación, que deliberadamente calificamos de convencional, en cierto modo nos da un primer acercamiento cualitativo al modelo, y de por sí constituye una base para la construcción posterior del diagrama de flujo-nivel que nos permitirá tener una perspectiva funcional del modelo, simular situaciones a partir de la variación de parámetros y evaluar la evolución del cambio que a la postre nos da un marco confiable para intervenir y tomar decisiones sobre el problema tratado.

Pero, en el fondo, seguimos una tendencia de inmersión en el modelado desde un plano donde planteamos un esquema del sistema a partir de información subjetiva y progresivamente llegamos a un modelo que conlleva una perspectiva cuantitativa, computacionalmente tratable y por tanto simulable.

8. MODELADO CUALITATIVO

Al momento de abordar un problema, para intervenir y tomar decisiones sobre él, normalmente tenemos un acercamiento dual al mismo, en función de las formas de conocimiento que debemos tener en cuenta. Tenemos un conocimiento cuantitativo, matemáticamente consistente y modelable; y un conocimiento cualitativo, ligado a información del experto que modela, sus opiniones o necesidades de información, expresadas en reglas.

Ahora, presentamos una ampliación del diagrama de influencias, que al ser aplicado podría permitir evaluar y tomar decisiones en el aspecto cualitativo. Para contextualizar la propuesta de ampliación planteamos que la elaboración del diagrama de influencias se lleve a cabo bajo las condiciones siguientes:

- Existe un usuario que hará uso del modelo, y desea intervenir en la situación problema basándose en el modelo mismo.
- El usuario tiene un dominio previo del problema tal que, es factible que pueda identificar los componentes del sistema y establecer relaciones causales entre ellos.
- Como consecuencia del dominio del problema, el usuario tiene la capacidad de, cualitativamente, expresar cambio en las dimensiones de ciertos componentes del sistema, útiles para quien hace uso del modelo.

Tradicionalmente las primeras dos condiciones son suficientes para proceder con el diseño de un diagrama de influencias del sistema, con los beneficios que ello implica en el modelado.

La tercera condición planteada nos lleva a un vínculo con la lógica difusa a través del uso de variables lingüísticas, i.e. variables cuyos posibles valores pueden ser expresados en términos lingüísticos. Cada posible valor puede a la vez ser representado como un conjunto difuso.

En la **Fig. 2** se presenta una sección del diagrama de influencias que en sí constituye el caso analizado, asociado al modelo general de la dinámica del parque automotor.

Supongamos que el elemento *EntradaAutos* que representa la cantidad de autos que ingresan al parque automotor, puede ser expresado como una variable lingüística.

Un posible conjunto de valores para esta variable podría ser:

$$\text{EntradaAutos} = \{\text{Baja}, \text{Normal}, \text{Alta}\}$$

Cada uno de los posibles valores para *EntradaAutos* es en sí un conjunto difuso. Por tanto podríamos caracterizar cada conjunto con una función de membresía. Suponiendo que la entrada de autos pueda fluctuar entre 100 y 10.000 autos por año, en la **Fig. 3** se muestra una posible configuración difusa para la variable lingüística *EntradaAutos*.

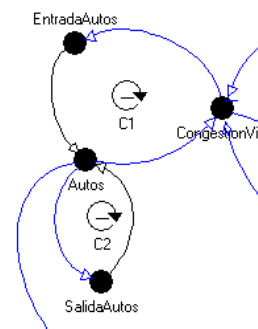


Fig. 2: Sección correspondiente al parque automotor

Así por ejemplo, el valor *Normal* es un conjunto difuso caracterizado por una función de membresía de forma trapezoidal, con parámetros

[2650, 4090, 5720, 7550] los cuales han sido seleccionados a criterio del modelador.

Podemos aplicar un razonamiento similar para el elemento *SalidaAutos* y expresarlo como una variable lingüística con posibles valores:

$$SalidaAutos = \{Despreciable, Baja, Apreciable\}$$

Podemos suponer que la escala para *SalidaAutos* esté entre 100 y 500 autos por año, y tendríamos funciones de membresía tal y como se muestra en la Fig. 4.

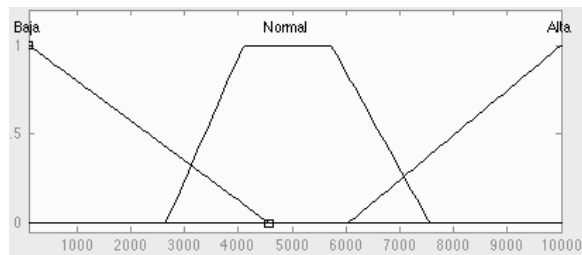


Fig. 3: Funciones de membresía para la variable *Entrada Autos*

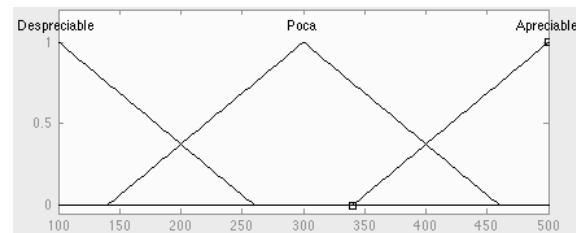


Fig. 4: Funciones de membresía para la variable *Salida Autos*

Ahora, si se supone que un criterio de decisión para el usuario modelador puede ser el tamaño o nivel del parque automotor, éste puede hacer de *Autos* una variable lingüística con el siguiente conjunto de valores:

$$Autos = \{Bajo, Normal, Alto\}$$

Nuevamente, cada posible valor de *Autos* tiene asociado un conjunto difuso. Si se considera que el tamaño del parque automotor se considera puede oscilar entre 1 y 10 millones de vehículos, la Fig. 5 representa las funciones de membresía que caracterizan los valores de *Autos*.

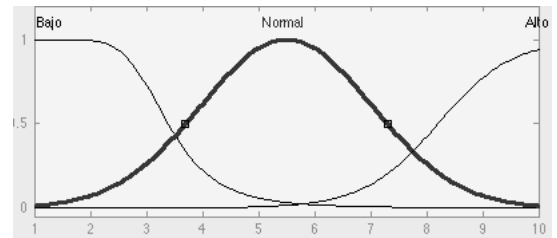


Fig. 5: Funciones de membresía para la variable *Autos*

Ahora, una revisión de la sección del diagrama de influencias de la Fig. 2 muestra que en efecto existen relaciones de influencia entre *Autos*, *EntradaAutos* y *SalidaAutos*. Dichas relaciones pueden también ser vistas como una base para la formulación de reglas de inferencia.

Así, dado que el crecimiento del parque automotor está ligado al comportamiento de la entrada y salida de autos, podemos generar reglas. Por ejemplo:

if EntradaAutos is Alta and SalidaAutos is Baja then Autos is Alto
if EntradaAutos is Baja and SalidaAutos is Alta then Autos is Bajo

Es natural asumir que las relaciones de causalidad pueden no solamente ser definidas por su sentido de cambio, sino también ser ponderadas en función de su relevancia. Esto permitiría definir, por ejemplo, relaciones fuerte o débilmente positivas.

Desde la óptica de la lógica difusa se está asociando a una relación un factor adicional, que denominamos *Relevancia*, que puede ser definido como una variable lingüística:

$$Relevancia = \{Débil, Normal, Fuerte\}$$

El hecho de poder ponderar las relaciones de causalidad en un diagrama de inferencia puede ayudar a la vez a ponderar las reglas que emergen al analizar dichas relaciones.

La ponderación de las reglas difusas completa la definición de un sistema de inferencia que puede ser evaluado por parte del usuario experto para simular la dinámica de ciertos factores que le sean relevantes en su proceso de intervención sobre el fenómeno modelado.

A manera de ejemplo, dado un flujo de entrada de 5.000 autos por año y un flujo de salida de 200 autos por año, podemos evaluar estos datos en el sistema de influencia determinado a partir de la sección analizada a la luz de la lógica difusa. Para este caso el nivel del parque automotor es de 5.99 millones de autos.

El resultado del proceso de inferencia es mostrado en la **Fig. 6**, donde se encuentran numeradas las 6 diferentes reglas que se utilizaron en el diseño del sistema de inferencia.

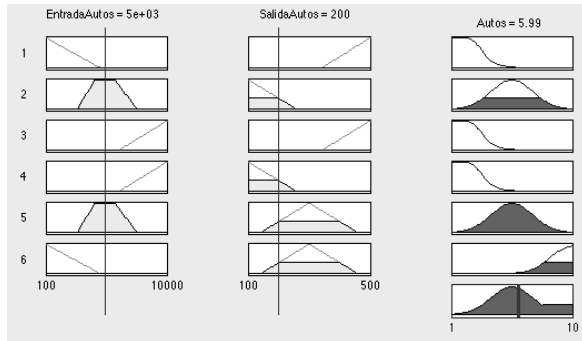


Fig. 6: Evaluación del sistema de inferencia

El sistema de inferencia planteado para el caso analizado define una superficie de decisión que se presenta en la **Fig. 7**.

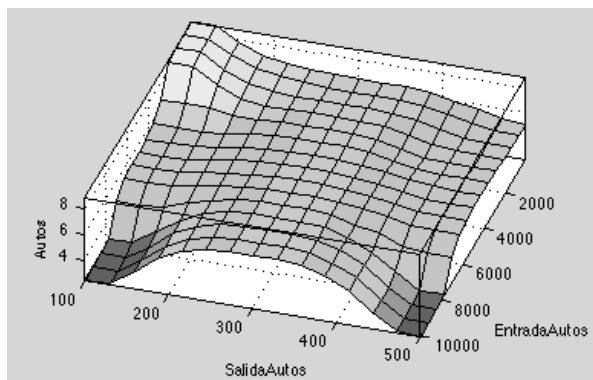


Fig. 7: Superficie de decisión del sistema de inferencia diseñado

9. PROXIMOS PASOS

En este artículo se ha delineado una propuesta de modelamiento cualitativo utilizando sistemas de inferencia difusos generados a partir de un diagrama de influencias.

Es natural afirmar que el paso siguiente es empezar a dilucidar en la totalidad del diagrama de influencias el conjunto de variables lingüísticas relevantes para soportar la intervención en el fenómeno, a criterio del usuario modelador.

Esto implica que en cierto momento diferentes sistemas de inferencias difusos han de surgir y por consiguiente deben ser evaluados de manera acoplada, integral.

Se plantea la necesidad en el Grupo SIMON de implementar una herramienta que brinde al usuario la capacidad de apoyar la implementación y simulación de sistemas de inferencia a partir de la construcción de un diagrama de influencias.

10. CONCLUSIONES

A través del análisis de un caso de modelado relacionado con la intervención sobre políticas de transporte, se ha presentado un conjunto de lineamientos que pueden aplicarse para apoyar el modelado con conocimiento aproximado en Dinámica de Sistemas mediante una alternativa de expansión del diagrama de influencias para que, desde una perspectiva basada en la lógica difusa, pueda verse al mismo como un medio para no solo determinar una idea dinámica del sistema en términos de realimentación, sino que puede servir de base para generar sistemas de inferencia que, al ser evaluados, permiten sentar una sólida base para la simulación de información cualitativa y útil para intervenir en el fenómeno modelado.

Esta investigación se adhiere al propósito de presentar a la comunidad iniciativas de investigación llevadas a cabo por el Grupo SIMON en el ámbito de la integración del modelado con Dinámica de Sistemas y sistemas basados en lógica difusa.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Fuzzy Sets. Zadeh Lotfi. 1965, Information and Control, págs. 338-353.
2. KLIR, George y YUAN, Bo. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Theory and Applications. s.l. : Prentice Hall, 1995.
3. MENDEL, Jerry. Uncertain Rule Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions. s.l. : Prentice Hall, 2000.
4. ANDRADE SOSA, Hugo Hernando, y otros. Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2001. ISBN 958-9318-78-9.
5. ARACIL, Javier. Máquinas, sistemas y modelos. Un ensayo sobre sistémica. s. l.: Editorial Tecnos, 1986.
6. STERMAN, John D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. s.l.: Irwin McGraw-Hill, 2000. pág. 1008. ISBN: 978-0072389159.
7. MACHADO MENDOZA, Gesman David y GONZÁLEZ PÉREZ, César Eduardo. Componente de sistema de inferencia difusa (FIS) para evolución

- 3.5. Universidad Industrial de Santander.
Bucaramanga: s.n., 2006. Tesis de pregrado. N° Inv: S15913.
8. LUQUE Y GUZMÁN SÁENZ, Guillermo Gustavo y PRADILLA VALBUENA, Vladimir Eduardo. Modelo conceptual generalizado de un sistema para soportar la toma de decisiones. Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga (Colombia): s.n., 2003. Tesis pregrado.
9. RIVERA, César Augusto y SARMIENTO VILLAMIZAR, Freddy. Aplicaciones de un modelo Conceptual generalizado de un sistema para soportar la toma de decisiones. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga: s.n., 2005. Tesis pregrado.
10. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. Zadeh, Lotfi. 1973, IEEE Transactions on System Man and Cybernetics, págs. 28-44.
11. Qualitative Knowledge Acquisition using Fuzzy Logic and System Dynamics. Bourguet, R. 2002. XX International Conference of the System Dynamics Society.
12. FORRESTER, Jay. Industrial Dynamics. s.l. : MIT Press, 1961.
13. Toward a Generalized Theory of Uncertainty. Zadeh, Lotfi. 2005, Information Sciences, págs. 1-40.

Enseñanza del concepto de función a partir de la modelación matemática

Teaching the concept of function by means of mathematical modeling

María Cristina Ruiz Puerta, Lic., Liliana María Trujillo Mestra, Adm., Luis Antonio Quintero, PhD
Universidad EAFIT,
ltruji11@eafit.edu.co, mruizpu@eafit.edu.co, lquinte3@eafit.edu.co

Resumen: Este trabajo constituye una propuesta de intervención en el aula para la enseñanza de funciones en la educación media a partir de la modelación matemática como estrategia de enseñanza aprendizaje, implementando la Dinámica de Sistemas; teniendo en cuenta que en matemáticas la adquisición de un concepto depende en gran parte de la capacidad para reconocer e interpretar una representación del mismo y que generalmente la academia en el bachillerato se dedica a la parte operativa y algebraica más que a la interpretación de dichos conceptos y a su aplicación en el mundo real. Se plantea la modelación y simulación del funcionamiento de una granja, donde a partir de ciertos cuestionamientos e interacciones que el estudiante realiza con algunas aplicaciones pueda definir el concepto de función y reconocer la importancia de éstas en la cotidianidad, además se busca acercar a los jóvenes al mundo de los animales y del campo, y al desarrollo mercantil de las granjas como negocio.

Palabras clave: función, sistemas, relación, dependencia, variable, modelos, simulación.

Abstract - This paper is a proposal for intervention in the classroom for teaching in secondary education functions from the system dynamics, taking into account that in mathematics the acquisition of a concept depends largely on the ability to recognize and interpret a representation of it and usually in high school academy is dedicated to the operational and algebraic more than the interpretation of these concepts and their application in the real world. There is a modeling and simulating the operation of a farm, where from certain questions and interactions that the student performs with some applications can define the concept of function and recognize the importance of these in everyday life, also seeks to bring youth into the world of animals and the

countryside, and development of commercial farms as a business.

INTRODUCCIÓN

“Dime y olvidaré; muéstrame y recordaré; involúcrame y aprenderé”. Gilbert Brenson

A través de la historia se ha visto que la matemática es el área con mayor dificultad de aprendizaje en el colegio. Algunos consideran que las matemáticas en la escuela tienen un papel esencialmente instrumental, que por una parte se refleja en el desarrollo de habilidades y destrezas para resolver problemas de la vida práctica, para usar ágilmente el lenguaje simbólico, procedimientos y algoritmos y, por otra, en el desarrollo del pensamiento lógico-formal. Las matemáticas han sido enseñadas a los estudiantes a través de contenidos fragmentados que llenan sus mentes con fórmulas y procedimientos, con problemas ficticios y simulados dado que no tienen ninguna importancia para el estudiante y son ajenos a la realidad en que vive, generando así una descontextualización de los conceptos matemáticos.

Para el aprendizaje de las matemáticas, en particular de las funciones, es necesario utilizar algunas formas de representación, como: la elaboración de modelos físicos, la descripción verbal de fenómenos, la elaboración de simuladores, las tablas de valores, las representaciones gráficas, y por último las fórmulas o ecuaciones; pues consideramos que si el alumno tiene claro lo que significa establecer una relación funcional será más sencillo pasar a la parte algebraica; es por ello que nuestro propósito con el presente trabajo es ofrecer a los docentes un diseño didáctico y metodológico a partir de la modelación matemática implementando Dinámica de Sistemas, con el cual se permita a los estudiantes de educación media, la comprensión del concepto de función y su relación con los fenómenos cotidianos a la vez que

favorezca el uso de tecnologías en el interior de las aulas de clase como eje dinamizador y motivador para el estudiante.

ANTECEDENTES DE LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FUNCIÓN A PARTIR DE LA MODELACIÓN DE SITUACIONES PROBLEMA

En el campo de la pedagogía se han visto grandes esfuerzos por cambiar la pedagogía tradicional, y se han desarrollado modelos como: la pedagogía activa o pedagogía cognitiva, que enfatiza el “aprender haciendo”; el modelo conductista, que es netamente academicista con la transmisión de conocimiento; el modelo experiencial, que se ocupa del “aprender a pensar”. En el modelo constructivista, en donde la actividad del sujeto resulta primordial: no hay “objeto de enseñanza” sino “objeto de aprendizaje” [1] y propone un aprendizaje significativo. Han sido varios y valiosos los diferentes modelos propuestos intentando responder a los requerimientos de las diferentes épocas.

La pedagogía tradicional asume la matemática como un legado inmodificable que debe ser transmitido al estudiante, donde el profesor es un transmisor del conocimiento y el estudiante un receptor pasivo que asimila dicho conocimiento. Sin embargo, el proceso de cambios en la educación ha apuntado a una reconceptualización del proceso de enseñanza – aprendizaje. Es así como se deberán crear situaciones problemáticas que permitan al estudiante explorar problemas, construir estructuras, plantear preguntas, reflexionar sobre modelos y crear escenarios, llevando a considerar que el conocimiento matemático está conectado con la vida social de los hombres, que se utiliza para tomar decisiones, que afectan la colectividad y que sirve como instrumento de justificación.

En el documento de los lineamientos curriculares de matemáticas se considera que *“saber matemáticas no es solamente aprender definiciones y teoremas, para reconocer la ocasión de utilizarlas y aplicarlas; hacer matemáticas implica que uno se ocupe de problemas, y encontrar buenas preguntas es tan importante como encontrarles soluciones. Una buena reproducción por parte del alumno exigiría que él actúe, formule, pruebe, construya modelos, lenguajes, conceptos, teorías, que los intercambie con otros, etc. Para hacer posible esta actividad el profesor debe imaginar y proponer a los alumnos situaciones que puedan vivir y en las que los conocimientos van a aparecer como la solución*

óptima y descubrirle en los problemas planteados” [1].

Así mismo el MEN (Ministerio de Educación Nacional) propone como retos del siglo XXI una educación matemática que propicie aprendizajes de mayor alcance y más duraderos que los tradicionales, que no sólo se haga énfasis en el aprendizaje de conceptos y procedimientos sino en procesos de pensamiento ampliamente aplicable y útil para aprender cómo aprender. El aprendizaje de las matemáticas debe posibilitar al alumno la aplicación de sus conocimientos fuera del ámbito escolar [5].

Para lograr esto, la educación se ha apoyado de nuevas tecnologías y ha visto las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), como una estrategia que puede ofrecerles a los ciudadanos nuevos puntos de encuentro para lograr construcciones conjuntas en lo cognitivo, en lo afectivo y en lo cultural. Y como afirma Marta Inés Tirado Gallego [2], este aprendizaje es una oportunidad para incluirse con juicio crítico en la sociedad de la información y en la sociedad del conocimiento, y reconocer aquellos procesos globales que modifican las culturas e impactan los procesos y necesidades particulares de educación en cada país o región.

“Pretendemos que la tecnología se use como una herramienta para generar ambientes de aprendizaje más lúdicos y más colaborativos, que motiven a los estudiantes a concebir el aprendizaje más allá del aula de clase e incentiven su interés y curiosidad por la investigación... La meta es lograr que el estudiante sienta la necesidad del conocimiento y que éste tenga mayor correspondencia con su vida práctica, para que el aprendizaje sea realmente significativo” [3], afirma Claudia Zea, cabeza del proyecto del Ministerio de Educación Uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC).

Es necesario darles otro enfoque a las matemáticas, que los estudiantes no las vean con desagrado, como un obstáculo en su formación, sino por el contrario, que las vean como una herramienta útil para resolver problemas, para generar habilidades mentales, espaciales, despertar la lógica y el razonamiento, y de esta manera lleguen más preparados y sin miedo a enfrentarse a la universidad en sus primeros cursos de matemáticas y cálculo, a tomar decisiones, retarse y adaptarse a nuevas situaciones, exponer sus opiniones y ser receptivos a las de los demás.

La modelación matemática está siendo fuertemente estudiada en los últimos años como método de enseñanza de las matemáticas en diferentes niveles de

escolaridad, ya que permite al estudiante no sólo aprender matemáticas de manera aplicada a diversas áreas del conocimiento de forma práctica y divertida, sino que también mejora la capacidad de abstracción de la realidad, análisis del entorno, capacidad para leer, interpretar, formular y solucionar situaciones problema. El reto es y como ha sido siempre, enfrentarla con la pedagogía tradicional para mostrar que esta metodología agrega valor al proceso educativo y contribuye al aprendizaje significativo.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente el objetivo primordial en la enseñanza de las matemáticas es la aplicación de los contenidos en la solución y planteamiento de situaciones problema de la vida cotidiana, pero mientras se continúe con una enseñanza magistral que privilegia la memorización de fórmulas y algoritmos, alejada de problemáticas reales y de interés para el estudiante, será casi imposible alcanzar esta meta y más difícil aún será facilitar la comprensión de esta asignatura y que los estudiantes dejen de temerles y verlas como aburridas y pasivas.

A raíz de las dificultades que presentan los estudiantes en el momento de enfrentarse con la enseñanza de las matemáticas, se crea la necesidad de implementar estrategias de enseñanza prácticas que les permitan comprender de una forma agradable el mundo de las matemáticas y su aplicación; por esta razón realizamos una propuesta de intervención en el aula, cuyo objetivo es utilizar la modelación matemática, implementando la Dinámica de Sistemas, para acercarse al concepto de función, pero que puede ampliarse a otras temáticas, pensando en la construcción de simuladores de modelos matemáticos, que den cuenta de diferentes funciones relacionadas en el tiempo, y donde los estudiantes podrán ir aproximándose al concepto de una manera amigable y a su vez reflexionando acerca de la problemática que se les plantea, aprovechando que en general los jóvenes de la actualidad viven en el mundo de la computación, ya que la Dinámica de Sistemas es una metodología que permite construir modelos y estudiar el comportamiento a través del tiempo de cualquier sistema susceptible de ser simulado por ordenador.

METODOLOGÍA

El concepto de función hace parte de los logros para alcanzar el pensamiento variacional, que se plantea en los Lineamientos Curriculares de Matemáticas, ampliando la visión para ubicarse en el dominio de un campo conceptual que involucra conceptos y

procedimientos interestructurados y vinculados que permitan analizar, organizar y modelar matemáticamente situaciones problema tanto de la actividad práctica humana, como de las ciencias.

Desde nuestra cotidianidad vivimos en un mundo rodeado de funciones; el salario recibido está en función del tiempo trabajado, la velocidad está en función del tiempo y la distancia recorrida, el consumo de calefacción es función de la temperatura ambiente, el consumo de combustible del automóvil es función de la cantidad de kilómetros que recorre, las notas obtenidas están en función de la cantidad de estudio y así podríamos continuar con una lista interminable; en cada uno de estos casos el estudiante debe realizar procesos mentales que le permitan comprender el problema o situación planteada del mundo real, luego llevar esto a un modelo matemático, para crear conclusiones, como se presenta en el siguiente esquema:

Desde la visión de la Dinámica de Sistemas (DS) se combina teoría, métodos y filosofía para analizar el comportamiento de los sistemas. Bajo esta perspectiva, el mundo es concebido como un todo más que el mero resultado de partes aisladas. Por tanto, la Dinámica de Sistemas muestra cómo las cosas verdaderamente cambian en el tiempo (Forrester 1998); por ello consideramos que a partir de una propuesta pedagógica basada en la modelación de situaciones reales mediante la DS se pueden realizar esquemas mentales que faciliten la comprensión de la temática de funciones, por ejemplo, en los primeros acercamientos de la conceptualización de un modelo, donde se requiere definir el propósito del mismo; en función de ello hay que decidir qué elementos han de ser tomados en consideración y cuáles de entre ellos están relacionados de forma que lo que ocurre en uno afecta de manera inmediata al otro, las interacciones buscadas son las que su manifestación consista en que una variable aumente o disminuya en función de otra, de la cual depende, experimentando así algún tipo de variación, por ejemplo, si aumentan los pedidos de una empresa debe aumentar el número de empleados, si la densidad de coches aumenta o disminuye cabe esperar que el número de accidentes también aumente o disminuya respectivamente. Las ventas de un producto seguramente dependerán del precio de los mismos. Estos planteamientos son ejemplos típicos de la DS, los cuales ya tiene dos propiedades de la definición de función: la primera, el considerar dos cantidades variables y la segunda, una relación de dependencia.

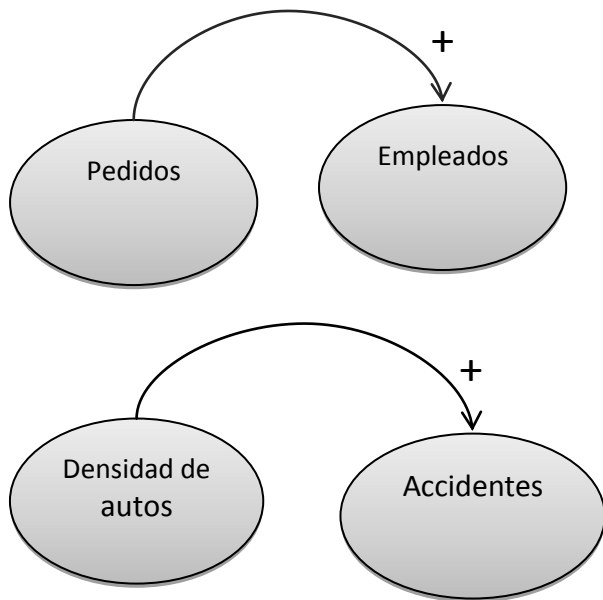


Figura 2. Dependencia causal entre variables

Buscando establecer relaciones como las anteriores para acercarse a la conceptualización de una función como una relación de dependencia entre variables, se planteará la modelación y simulación del funcionamiento de una granja a partir de la Dinámica de Sistemas.

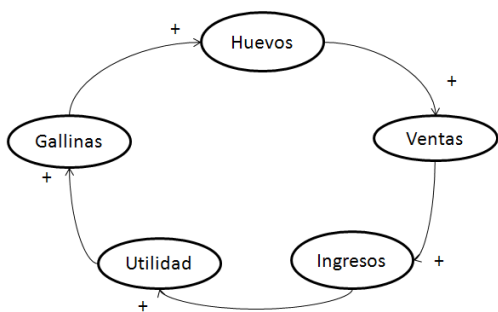


Figura 3. Diagrama causal

Desarrollo de la propuesta de intervención en el aula



Figura 4. Interface del aplicativo en PowerSim

Se iniciará con un diálogo entre el docente y los estudiantes, buscando motivar e indagar por el funcionamiento de una granja, para dicho diálogo el profesor puede tener presente preguntas como: ¿les gustan los animales? ¿Cómo creen que es la vida en el campo? ¿Cómo es una granja? ¿Quiénes han ido a una? ¿Qué animales se pueden tener? ¿Cómo creen que funciona una granja?, entre otras.

Luego se entrega a cada estudiante la siguiente historia.

Imagina que vas a administrar una granja y deberás organizar todas las tareas de un granjero, como: dar de comer a los animales, realizar la compra de abastecimientos, la limpieza y el mantenimiento de las instalaciones. También tendrás que tomar una serie de decisiones que afectarán el funcionamiento de la finca, como por ejemplo la cantidad de animales a tener de cada especie, cuándo se pueden vender los animales, o lo producido por ellos, etc.

Para eso tienes un presupuesto de 40 millones de pesos para comenzar la operatividad de la granja, pues ya las instalaciones están listas: acueducto, galpones, porquerizas, estanque.

En la finca podrás tener los siguientes animales: gallinas, pollos, peces y cerdos; además cuentas con un bosque de cedros de 80 ha² y de varios árboles frutales distribuidos en toda la finca que tienen uso doméstico y comercial.

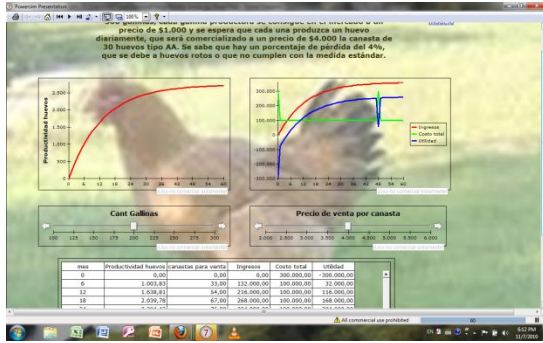


Figura 5. Interface del modelo para gallinas.

Para el criadero de gallinas dispones de un galpón con capacidad para 300 gallinas, cada gallina productora se consigue en el mercado a un precio de \$1.000 y se espera que cada una produzca un huevo diariamente, que será comercializado a un precio de \$4.000 la canasta de 30 huevos, tipo AA. Se sabe que hay un porcentaje de pérdida del 4%, que se debe a huevos rotos o que no cumplen con la medida estándar.

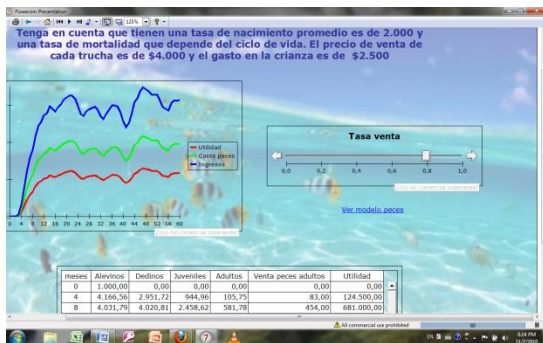


Figura 6. Interface del modelo para peces.

Los peces tienen varios ciclos de vida: alevinos, dedinos, juveniles y alcanzan la edad adulta entre los 7 y nueve meses en el caso de la trucha arco iris, para ser comercializados. Para el criadero de peces en la granja se cuenta con un lago, que tiene una capacidad promedio para 10.000 peces. Es necesario tener en cuenta que tienen una tasa de nacimiento promedio de 2.000 y una tasa de mortalidad que depende del ciclo de vida. El precio de venta de cada trucha es de \$4.000 y el gasto en la crianza es de \$2.500.

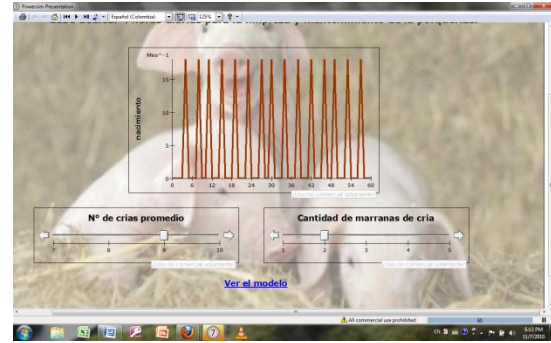


Figura 7. Interface del modelo para cerdos.

Para el criadero de cerdos dispones de una porqueriza con capacidad para 30 cerdos. Una marrana lista para criar tiene un valor en el mercado de \$350.000, con tiempo de gestación de 114 días, tiene una camada promedio de 9 marranitos, que se engordan en 3 meses. Serán comercializados a un precio de \$280.000 cada uno. La tasa de mortalidad es de 3%. La alimentación de los cerdos es gradual según su edad y los costos por alimentación de cada uno son de \$80.000. Los costos por vacunación ascienden a \$5.000 y por transporte a \$4.000 y se deben dedicar 4 horas diarias para la limpieza y mantenimiento de la porqueriza.

El bosque de cedros de la finca (80 ha²), se destina para la tala y la comercialización de la madera. Por cada árbol que se tala, se deberán sembrar otros dos, el costo de talar un árbol es de \$250.000 aproximadamente incluyendo pago del aserrador, permisos para la tala y transporte de la madera, y se vende a \$600.000.

Tenga en cuenta que por condiciones ambientales no se puede talar más del 50% del bosque.

Luego se dará un tiempo para que el estudiante interactúe con el aplicativo “La granja” (Archivo de Excel y PowerSim) después de una exploración el docente retomará cada una de las actividades propuestas en la aplicación (criadero de cerdos, venta de huevos, tala del bosque, banco de peces) y al tiempo que realizan las actividades allí propuestas se harán algunas preguntas (ver anexo), las cuales pueden ser respondidas de forma escrita, oral o ambas, según lo considere pertinente el docente.

Por último, debe quedar como conclusión la definición formal de función: Una función es una relación entre dos conjuntos que cumple dos condiciones:

Todo elemento del conjunto de partida o dominio está relacionado con un elemento en el conjunto de llegada o codominio.

No es posible que un elemento del conjunto de partida o dominio esté asociado con dos o más elementos del conjunto de llegada o codominio

“Si escribimos esto en notación formal, tenemos que una función

$$f: A \rightarrow B$$

es una manera de relacionar los elementos del conjunto A con los elementos del conjunto B, que cumple:

$$\forall a \in A \exists b \in B \text{ tal que } f(a)=B.”$$

RESULTADOS

Después de que el alumno explore las simulaciones propuestas en cada caso y responda y reflexione las preguntas planteadas, con la orientación del docente se espera que los estudiantes identifiquen: variables dependientes e independientes, y su comportamiento en el tiempo, que se pueden verificar con respuestas como las siguientes: al pasar algunos años la población de animales tiende a disminuir (por muertes) y por lo tanto las utilidades disminuirán y será necesario reponer los animales (renovar los recursos); las ganancias dependen de los gastos y de lo obtenido por ventas y éstos a su vez dependen del número de animales en la finca.

Con base en los análisis hechos a lo largo del trabajo, se presenta como producto final una propuesta de intervención en el aula basada en la Dinámica de Sistemas a partir del aplicativo interactivo “*Mi granja*” con actividades estratégicas dirigido a docentes de matemáticas, que contribuya a la enseñanza y evaluación del concepto de función desde la reflexión y modelación de situaciones cotidianas que se presentan en el manejo de una finca y del análisis de representaciones gráficas.

CONCLUSIONES

La modelación como estrategia de aprendizaje de las matemáticas proporciona una mejor comprensión de los conceptos matemáticos, al tiempo que permite constituirse en una herramienta motivadora en el aula de clase. De igual manera potencia el desarrollo de capacidades en el estudiante para posicionarse de manera crítica ante las diferentes demandas del contexto social, junto con la capacidad para leer,

interpretar, proponer y resolver situaciones problemas.

Los resultados de las simulaciones realizadas en el programa Powersim, son muy susceptibles a los parámetros utilizados, por esto cuando el estudiante interactúa es necesario limitar los valores entre los cuales puede modificar o variar dichos parámetros para que los resultados, generalmente en los gráficos, tengan valores comprensibles para el estudiante y que no desvirtúen el objetivo.

Este tipo de situaciones problema abarcan diferentes temáticas de varias disciplinas, por lo que es interesante que los profesores de las diferentes disciplinas se reúnan para trabajar de manera transversal en los centros educativos. De esta manera, el estudiante tendrá una visión sistémica del mundo que lo rodea, podrá ver las partes interactuando como un todo.

REFERENCIAS

[1] Lineamientos curriculares: matemáticas. Ministerio de Educación Nacional. Colombia.

[2] TIRADO G., Marta. Repensar el acto educativo con apoyo de las TIC. Revista Altablero No. 50 mayo - junio 2009. www.mineducacion.edu.gov [citado 22 de mayo de 2010].

[3] ZEA, Claudia. Red nacional para el aprendizaje y el uso de la tecnología. Revista Altablero No. 33 febrero- marzo 2005. Ministerio de Educación Nacional – MEN www.mineducacion.edu.gov

[4] CRUZ, Margarita M. *Evaluando la Dinámica de Sistemas como una herramienta para enseñar Historia*. Revista de Dinámica de Sistemas Vol. 3 Núm. 2 (Noviembre 2007).

[5] Estándares Básicos de educación en Matemáticas. Potencias el pensamiento matemático: un reto escolar. Ministerio de Educación Nacional.

BIEMBENGUT, M.S y Hein, N. Modelación matemática y desafíos para enseñar matemática. Educación matemática. Agosto, 2004 vol. 16 numero 002. Santillana. México. Pp. 105 -125.

GASCON, Josep (1994). La resolución de problemas en la enseñanza de la matemática. Educación matemática, Vol. 6 N° 3, Grupo Editorial Iberoamérica. México, p.40.

FORRESTER, J. W. (1968). Principles of Systems. Wright-Allen Press, Cambridge, MA.

FORRESTER, J. W., Industrial Dynamics, The M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1961.

PLANCHART MÁRQUEZ, Orlando. La Modelación Matemática: alternativa didáctica en la enseñanza de precálculo. Revista de investigación en ciencias y matemáticas, vol. 1. Junio, 2005.

PUCHET, Martín. Aspectos discursivos y didácticos de las relaciones entre matemáticas y ciencias sociales. Revista Mexicana de Sociología, Vol. 55, No. 4 (Oct. - Dic., 1993), pp. 101-120 Publicado por: Universidad Nacional Autónoma de México.

ROBERTS, Nancy. Teaching Dynamic Feedback Systems Thinking: An Elementary View. Management Science, Vol. 24, No. 8 (Apr., 1978), pp. 836-843

SMITH, Peter. Dynamic Programming in Action. The Journal of the Operational Research Society, Vol. 40, No. 9 (Sep., 1989), pp. 779-787. Published by: Palgrave Macmillan Journals.

STEVEN J. Stratford, Joseph Krajcik, Elliot Soloway. Secondary Students' Dynamic Modeling Processes: Analyzing, Reasoning about, Synthesizing, and Testing Models of Stream Ecosystems. Journal of Science Education and Technology, Vol. 7, No. 3 (Sep., 1998), pp. 215-234

TEGENE A., Wallace E. Huffman, John A. Miranowski. Dynamic Corn Supply Functions: A Model with Explicit Optimization. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 70, No. 1 (Feb., 1988), pp. 103-111 Published by: Blackwell Publishing.

TITTERINGTON, D. M. Aspects of Optimal Design in Dynamic Systems. Technometrics, Vol. 22, No. 3 (Aug., 1980), pp. 287-299 Published by: American Statistical Association and American Society for Quality.

ANEXO: PREGUNTAS ORIENTADORAS

Para el aplicativo de la venta de huevos.

¿Cuántos huevos ponen las gallinas en 2 días, en 3 días, en 8 días, en un mes, en un año?

Si se han recogido 450 huevos, ¿cuántos días han pasado?

¿Cuántas gallinas serán necesarias para cubrir una demanda de un supermercado de 70 canastas de huevos semanales cada una con 30 unidades?

¿Qué harías para conocer las ganancias obtenidas por la venta de los huevos?

¿De qué depende el número de huevos recogidos en la finca?

Si se aumenta el número de gallinas, ¿qué pasa con las ganancias?

¿Es posible que se mantenga el mismo nivel de producción de huevos indefinidamente con las mismas gallinas iniciales? ¿Por qué?

Si por algún motivo el dueño de la granja decide no comprar las gallinas ponedoras sino que compra las pollitas a \$2000 cada una para criarlas y luego de 10 meses empezar a recoger lo producido; ¿afecta esto las utilidades? ¿En qué valor exactamente? ¿Qué beneficios crees que podría traer esta nueva medida? Describe el comportamiento de las ventas en este caso, trata de hacer una representación gráfica.

¿Cuál de los dos casos (conseguir las gallinas adultas o las pollitas) consideras más rentable y por qué?

¿De qué dependen las utilidades obtenidas por la venta de los huevos?

Si no se vuelve a comprar gallinas ¿qué crees que sucederá con la venta de huevos, por qué?

Intenta representar matemáticamente:

- Los gastos generados en el cuidado y mantenimiento de las gallinas y en la distribución de los huevos en el mercado.

- El dinero obtenido por la venta de huevos.

- Las ganancias totales.

¿Cómo crees que se puede aprovechar el gallinero para obtener ingresos además de la venta de huevos?

Para el aplicativo de la venta y criadero de peces.

¿De qué depende el tamaño de los peces para la venta?

¿De qué depende el número de peces en el lago?

¿Cuánto dinero recibe el granjero por la venta de 50 peces, de 100 peces, de 250 peces y de 350 peces?

¿Cómo se obtiene la utilidad por la venta de los peces?

¿De qué depende el precio de un pez?

¿De qué depende el engorde de los peces?

¿Según el ritmo de crianza de los peces en esta finca qué sucede con las ganancias a medida que pasa el tiempo?

Con el dato de venta actual ¿es posible saber la ganancia en una proyección de 5 años?

Describe con tus palabras el comportamiento de las utilidades en 5 años.

¿Es posible aprovechar el lago de peces para obtener más ganancias aparte de la venta?

¿Cuántos peces deben venderse para obtener ganancias de 1000 0005?

¿Qué pasa con el número de peces en el lago a medida que pasa el tiempo?

¿Es rentable el criadero de peces? ¿Por qué?

¿En qué etapa del crecimiento de los peces es más probable que haya muertes?

De qué dependen las utilidades obtenidas por la venta de los peces.

Intenta representar matemáticamente:

- Los gastos generados en el cuidado y mantenimiento de los cerdos y en la distribución de los mismos en el mercado.

- El dinero obtenido por la venta de cerdos

- Las ganancias totales.

Para el aplicativo del criadero y venta de cerdos.

¿Cuántas crías se han obtenido en 1 año, 2 años, 3 años, 4 años y 5 años? ¿Qué procedimiento realizas para obtener el resultado?

¿Cuánto dinero se obtiene por la venta de 3 cerditos, de 5 cerditos y de lo producido en 5 años?

¿De qué depende la cantidad de cerditos que hay en la granja?

¿De qué depende el engorde de los cerditos?

¿Cómo se afecta la producción de cerdos si fallece una de las marranas de cría?

¿Cuánto dinero cuesta la crianza de un cerdito?

Según el ritmo de crianza de los cerdos en esta finca ¿qué sucede con las ganancias a medida que pasa el tiempo? Describe con tus palabras el comportamiento de las utilidades en 5 años.

¿Es posible aprovechar el criadero de cerdos para obtener más ganancias aparte de la venta de carne? ¿Cómo?

Si se han recaudado 4.500.0000 ¿cuántos cerditos se vendieron?

¿Es posible que se mantenga el mismo nivel de producción de cerdos indefinidamente, con las mismas marranas de cría iniciales? ¿Por qué?

De qué dependen las utilidades obtenidas por la venta de los cerdos.

Intenta representar matemáticamente:

- Los gastos generados en el cuidado y mantenimiento de los cerdos y en la distribución de los mismos en el mercado.

- El dinero obtenido por la venta de cerdos.

- Las ganancias totales.

Para la comercialización de madera.

¿Cuánto dinero se recibe por vender 3 árboles, 7 árboles, 100 árboles?

¿De qué depende el costo de un árbol?

¿De qué depende el número de árboles que se pueden cortar?

¿Cuáles serán las consecuencias de talar todo el bosque? ¿Esto será rentable para la finca? A largo plazo qué puede suceder.

Intenta representar matemáticamente:

- Los gastos generados en el cuidado y mantenimiento de los cerdos y en la distribución de los mismos en el mercado.

- El dinero obtenido por la venta de cerdos

- Las ganancias totales.

Enumera las consecuencias se la tala de árboles.

Finalmente se propone el siguiente taller:

De qué depende el número de animales de cada especie en la granja. ¿Puede tenerse un número ilimitado e animales?

Cuál de las producciones es la más rentable en la granja, a corto plazo y a largo plazo.

¿Qué beneficios y dificultades podría traer el tener en la granja solamente una de las producciones propuestas?

Si se destina la granja a solo una de las producciones ¿cuál consideras la más difícil de sostener y por qué?

Describe la forma con la que hallarías las utilidades totales de la granja en 5 años.

Consideras rentable el manejo que se le propone a esta granja ¿por qué?

¿El funcionamiento de la granja aporta a la contaminación del medio ambiente? ¿Cómo?

Cómo redistribuirías las tareas en la granja de tal manera que:

- Se obtengan mejores beneficios económicos.

- Se obtenga un menor impacto en el deterioro ambiental.

Los especialistas y la integración de la DS en la escuela - una propuesta de aprendizaje colaborativo-

The specialists and the integration of SD in school - a proposal for collaborative learning-

Giovanni López M. Ing., Hugo H. Andrade S. MSc
Universidad Industrial de Santander
Grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación
logiovanni@gmail.com
handrade@uis.edu.co

Resumen¹: El presente artículo reflexiona sobre la rigurosidad de las prácticas y productos que se utilizan en la integración la DS en la escuela. Rigurosidad en términos de la explicación científica que requiere una formulación matemática para que las simulaciones sean confiables para el usuario, y en el lenguaje de la DS para que muestre todas sus posibilidades de recrear fenómenos complejos dinámicos. Se presenta una propuesta para buscar un trabajo conjunto entre el especialista en DS y las comunidades escolares que desarrollan este proceso, apoyada en el trabajo colaborativo y a distancia.

Palabras Clave: DS y educación, DS y escuela, buenas prácticas en DS.

Abstract: This paper reflects on the rigorous practices and products that are used in integrating the SD at school. Thoroughness in terms of scientific explanation that requires a mathematical formulation for the simulations are reliable for the user, and the language of the DS to show its potential to recreate complex dynamic phenomena. A proposal to seek a joint effort by specialist SD and school communities to develop this process, based on collaborative and distance work.

Keywords: SD and education, SD and school, good practices in SD.

1 INTRODUCCIÓN

La integración de la Dinámica de Sistemas DS en la escuela es una tarea asumida a nivel internacional [1], [2] y de forma local [3], en particular la experiencia colombiana se ha llevado a cerca de 2.000 sedes educativas de educación preescolar básica y media [4].

Fruto de este llevar dinámico sistémico a la escuela, surge la pregunta por la rigurosidad con la cual se asume en este espacio, rigurosidad en lo científico, es decir, en términos de la explicación científica que requiere una adecuada formulación matemática para que las simulaciones sean confiables para el usuario y rigurosidad en el uso del lenguaje de la DS para hacer uso de todas sus posibilidades para recrear fenómenos complejos.

Este artículo reflexiona sobre la integración y presenta una propuesta que busca aportar a la rigurosidad de la DS en la escuela, basada en una idea de elaboración de productos en un ciclo de realimentación de mejoramiento continuo (figura 1) entre la producción y el uso del producto, en un proceso de aprendizaje colaborativo y con una participación activa de profesores de la escuela junto con los especialistas en DS, con el apoyo de una plataforma en internet para facilitar el trabajo a distancia.



Figura 1. Ciclo de mejoramiento de productos

2 LA RIGUROSIDAD DE LA DS EN LA ESCUELA

Al reflexionar sobre las prácticas y los productos que, de diferentes fuentes, usan las escuelas que se inician en la integración de la DS a la escuela, surge la preocupación por la rigurosidad de los productos de DS que recrean las problemáticas de interés escolar. En procura de que la DS muestre todas sus posibilidades para recrear fenómenos en su complejidad. La rigurosidad entendida en términos de la explicación científica [5] que requiere una formulación matemática para que las simulaciones sean confiables para el usuario, conocedor o no de dicha explicación.

Si no se tiene presente la necesidad de la rigurosidad, la comunidad corre el riesgo de usar simuladores¹ que representan un conocimiento general del problema de estudio, pero no tienen el rigor en el aspecto científico y en el lenguaje de la DS, esto conlleva a que no se viva el proceso de construcción de conocimiento, que es el principal aporte de la DS a la práctica educativa. Esto lo motiva el que se busca pasar de una escuela que usa definiciones (fórmulas y datos) a una escuela que vive la construcción de explicaciones (construye y reconstruye su conocimiento), es decir, que vive procesos de modelado, por ejemplo, con DS, de una manera accesible desde muy temprana edad y con representaciones matemáticas complejas.

Hay múltiples situaciones y problemas de interés para la escuela que pueden abordarse con DS pero ésta, tiene barreras para llegar a la escuela [6] y si además no es posible recrear asuntos de interés para ésta, significativos para su contexto, las barreras son mayores. La experiencia muestra que es necesario formular modelos contextualizados para el aprendizaje con y de la DS, es decir, los problemas a abordar deben ser significativos para el contexto local de la escuela. Es necesario desarrollar modelos para la educación que superan la complejidad de las representaciones matemáticas con las que generalmente trabajan los profesores en las escuelas y aún a nivel universitario. Al existir la necesidad de realizar estas representaciones, sin contar con la presencia del especialista, se puede caer en planteamientos no rigurosos que pueden difundir una DS que corre el riesgo de desprestigiarse; aún en problemas simples, donde es necesario el rigor al recrear la DS con la presencia de la realimentación y

¹ Un simulador es aquel que contiene un modelo con DS, se presenta al usuario a través de una interfaz, es decir, presentando los comportamientos generados por el modelo.

la evaluación, siempre necesaria para cualquier modelo dinámico sistémico.

2.1 EL ROL DEL ESPECIALISTA EN DS

En la Dinámica de Sistemas y los profesores de K-12², Jay Forrester menciona que una escuela con Dinámica de Sistemas progresaría más rápido, si se puede contratar un modelador experimentado en DS como tutor para ayudar a los profesores [7]. Luego [8] citado por [3], menciona que otra forma de iniciar la propagación la DS, es que los expertos encuentren lugares en el plan de estudios donde las herramientas de DS pueden mejorar la formación y trabajen con los profesores para desarrollar y co-enseñar actividades.

En este artículo se concibe el especialista en DS como un experto en el uso de la DS, generalmente en el marco de su actividad académica, que aporta y procura la calidad de los recursos, particularmente de los modelos utilizados en los diferentes materiales. El especialista aporta a la comunidad escolar en la medida que apoya la construcción de ambientes de modelado y simulación y modelos que recrean situaciones de interés para la escuela, buscando darle rigurosidad en términos del conocimiento y de DS.

Además, se identifica la necesidad del acompañamiento del especialista en DS al aprendizaje en DS para que en el ejercicio de modelar, se aprenda a modelar y evaluar cada representación, para darle el uso adecuado. La poca existencia de especialista en DS haría imposible el atender una demanda creciente de asesoría a la escuela en una difusión amplia de la DS.

Se hace necesario generar condiciones para que el aporte de un especialista irradie a un gran número de escuelas. Si visualizamos un escenario en el cual el aporte de un experto se dirija a una sola escuela o comunidad escolar obtendríamos un proceso de difusión muy lento y de poca cobertura.

El especialista puede entonces trabajar de forma colaborativa con la escuela. Con las iniciativas actuales para la difusión y el aprendizaje de la DS, se alcanzan aprendizajes iniciales del paradigma dinámico-sistémico y de la DS, representado por los productos en término de modelos y uso de los modelos en actividades escolares. Se concluye que estos productos son más rigurosos en la medida que

² En EE.UU., K-12 indica los grados que cursa el estudiante, desde kínder hasta doceavo grado, antes de ingresar a la universidad, en el contexto colombiano sería equivalente a la educación básica y media.

el especialista trabaja conjuntamente con los profesores en su construcción.

3 REFERENTES METODOLÓGICOS

En [1] se menciona que un equipo de expertos en DS debe controlar el progreso y verificar continuamente las actividades en procura de una calidad cada vez más alta. En [3] se citan los elementos que puede aportar un especialista a la integración de la DS en la escuela:

- George Richardson manifiesta, particularmente a los profesionales de la DS que hay que descubrir qué necesitan los profesores y mostrarles que con DS es mucho más fácil.
- Pueden repasar con los profesores las actividades escolares integradas y los modelos, para ayudarlos a explicar la DS correctamente.
- Ofrecer a los profesores trabajar en conjunto para desarrollar modelos pertinentes para su plan de estudios.

En el sitio web para facilitar el aprendizaje y la difusión de la DS en la educación [9] se muestra la DS como un lenguaje para apoyar procesos de aprendizaje en todos los niveles de educación, promover la profundización de conocimientos, la construcción de materiales y favorecer la construcción de redes de aprendizaje y el trabajo colaborativo, buscando vincular a profesionales y expertos de la DS, en su esfuerzo por difundir su uso.

3.1 APRENDIZAJE COLABORATIVO

En [10] menciona que la más amplia (pero insuficiente) definición de "aprendizaje colaborativo" es que es una *situación* en la que *dos o más* personas *aprenden* o intentan aprender algo *juntos*. Luego [11] menciona que el aprendizaje colaborativo es otro de los postulados constructivistas que parte de concebir a la educación como proceso de socio-construcción que permite conocer las diferentes perspectivas para abordar un determinado problema, lograr desarrollar tolerancia en torno a la diversidad y pericia para reelaborar una alternativa en conjunto.

Además menciona que el aprendizaje colaborativo es eficiente para insertar la educación dentro del proyecto de vida y conectar la evolución personal con el desarrollo de un proyecto de país coherente que favorezca la cohesión y la visión sistémica de elementos hoy fragmentados, como son: formación, educación, familia, sociedad, desempeño laboral y evolución nacional. Estas premisas permiten pensar en un grupo de personas, profesores de educación

básica y media y especialistas en DS, trabajando juntos para aprender sobre DS y con DS, en la búsqueda de nuevas estrategias para la integración de la DS en la escuela.

3.2 APRENDIZAJE COOPERATIVO

La idea de aprendizaje cooperativo también surge de las teorías del aprendizaje constructivista y se basa en la división de tareas u actividades de aprendizaje en la búsqueda de una meta común, como señalan [12] y [13] citados por [14] el aprendizaje cooperativo requiere de una división de tareas entre los componentes del grupo. Por ejemplo, el educador propone un problema e indica qué debe hacer cada miembro del grupo. Esta idea de aprendizaje nos es útil en la medida que el proceso de formación de profesores en el uso de la DS para construir explicaciones científicas y para el aprendizaje de la misma, está orientado por un ente promotor³, quien cumple las funciones de orientador y dinamizador de las actividades de aprendizaje, experiencias escolares y eventos de socialización de la propuesta para integrar la DS en la escuela.

Las ideas de aprendizaje colaborativo y aprendizaje cooperativo permiten articular el trabajo de los principales actores del proceso de integrar la DS en la escuela ver figura 2, logrando que el aporte de cada uno consolide el proceso y permita una presencia de la DS sostenible y de calidad.

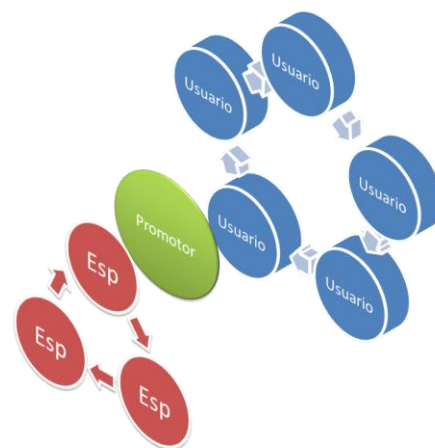


Figura 2. Actores en la integración de la DS en la escuela

4 PROPUESTA DE TRABAJO COLABORATIVO

Se propone una estrategia (figura 3) de trabajo que incluya la participación del promotor de la propuesta, el especialista y la comunidad de escuelas que viven

³ Grupo SIMON de investigaciones.

el proceso de integrar la DS en sus proyectos educativos, en una dinámica de construcción, reconstrucción y uso de productos con DS y en contexto.

La *Figura 3* muestra cómo el proceso inicia en la propuesta de una experiencia (Exp_Prop), a la cual se le asigna un especialista en DS para aportar en su desarrollo, en ese momento se convierte en una experiencia asignada (Exp_Asignada) la cual se pone a consideración de los miembros de la red, quienes pueden manifestar su interés en el desarrollo, este grupo prueba y reformula la experiencia, creando el ciclo de construcción de la experiencia. Luego de algunas iteraciones en el ciclo de construcción, la experiencia cambia su estado a terminada (Exp_Terminada), a continuación, se publica y está disponible para todos los miembros de la red. La experiencia ingresa al ciclo de uso y aplicación, en donde se reciben aportes y observaciones surgidas en las actividades desarrolladas en el aula. Luego de múltiples aplicaciones, la experiencia podría ingresar en el proceso de reconstrucción si los miembros de la red lo acuerdan.

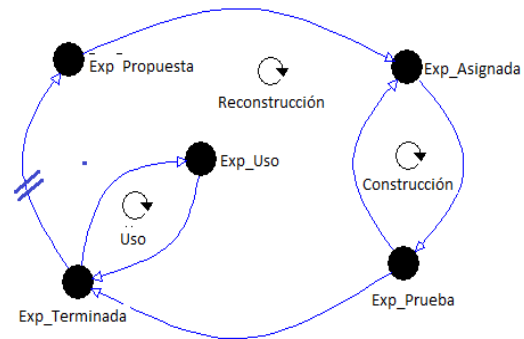


Figura 3. Propuesta Trabajo Colaborativo

Los especialistas y las escuelas que participan de este proceso, se encuentran dispersos geográficamente, por esto, la estrategia se implementa en un sitio web, buscando que los aprendizajes y productos de la experiencia estén fácilmente disponibles y logren vincularse nuevos miembros a la comunidad que difunde la DS en la educación básica y media.

Actualmente se encuentran vinculados al proceso 40 profesores de 30 instituciones educativas de la región Caribe y de Santanderes en Colombia, quienes han desarrollado experiencias diversas de integración de la DS. Por parte de los especialistas se cuenta con la participación de tres investigadores del Grupo SIMON, se espera la vinculación de más especialistas a nivel nacional y latinoamericano.

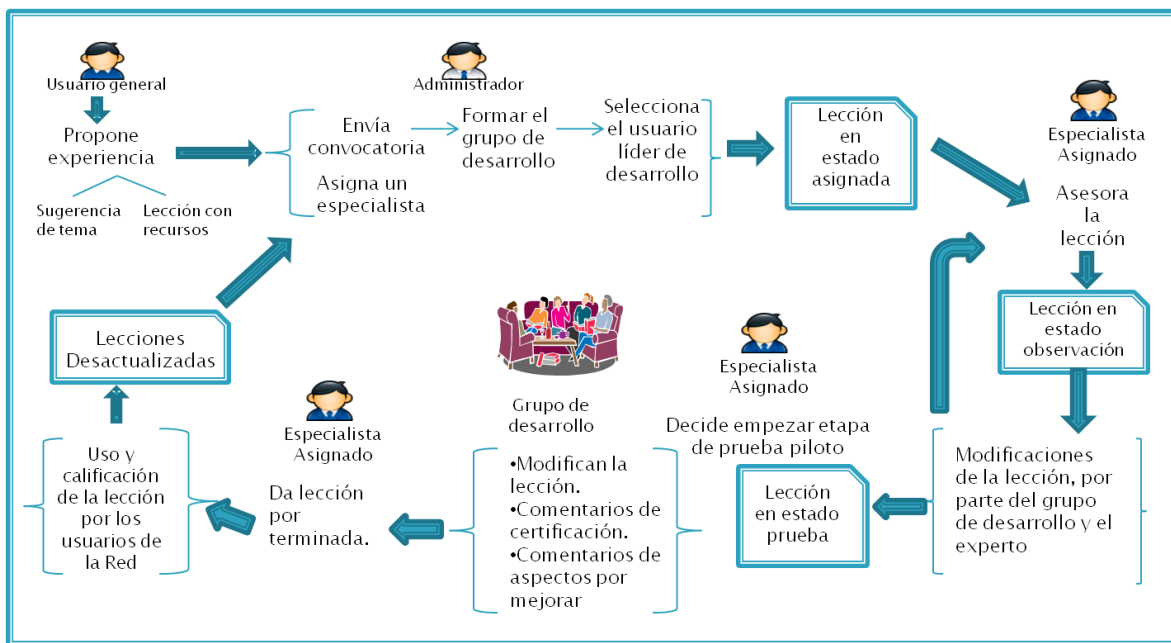


Figura 4. Propuesta de construcción de productos con DS en RedDinámica

El proceso de construcción de un producto con DS se desarrolla en una plataforma de internet, llamada

RedDinámica (ver 73 **PLATAFORMA DE INTERNET**). La plataforma soporta las actividades

necesarias para implementar la propuesta de trabajo colaborativo, el proceso inicia (ver figura 4) cuando un miembro de la comunidad pone a consideración una propuesta de actividad con DS para desarrollar en la escuela, el usuario puede proponer desde una idea de actividad para realizar, con una breve descripción de la temática o una actividad más elaborada con recursos iniciales (modelos, planeación de actividades de clase, etc.).

Luego de generada la actividad propuesta el administrador recibe una notificación, a partir de la cual se inicia el proceso de convocatoria de interesados en el desarrollo de la experiencia. La convocatoria se realiza enviando un mensaje a los miembros de la red, informando de la actividad y promoviendo la participación, cada usuario puede manifestar el interés en participar en el desarrollo. El administrador conforma el grupo de desarrollo con los participantes interesados en la experiencia con un máximo de 5 personas. Paralelo a esta actividad el administrador del sitio convoca a especialistas para asesorar el desarrollo de la experiencia, que designa con el nombre de lección. En esta etapa el producto inicia su ciclo de construcción, en el cual se realizan entre otras las siguientes actividades:

- Definición del propósito de la lección en términos del aprendizaje particular y de la DS.
- Aportes del grupo de desarrollo para definir un esquema general de la lección.
- Planteamientos de recursos iniciales (simuladores, modelos, guías de trabajo, material audiovisual, entre otros).
- Se define el aporte de cada miembro al desarrollo de la actividad, en términos de los recursos y la lección misma.
- Se construye la lección y los recursos, hasta un acabado suficiente para calificarlo en estado de prueba. La lección se considera en estado de prueba cuando tiene los elementos suficientes para desarrollarse en el aula de clase o el ámbito académico para el cual fue creada. La definición de este estado se hace en común acuerdo entre los miembros del grupo de desarrollo.
- A continuación se inicia el proceso de prueba piloto, en la cual los participantes del grupo de desarrollo utilizan la experiencia en sus actividades escolares, en este periodo la lección puede sufrir modificaciones de acuerdo con las experiencias de aplicación. La lección se enriquece con las recomendaciones surgidas de su uso en diferentes escenarios de trabajo.

- Al finalizar la etapa de prueba la lección se ubica en estado de terminada y puede ponerse a disposición de toda la comunidad, es decir, se hace pública. Los miembros de la red pueden utilizar la lección, comentar sus experiencias de aplicación y calificarla de forma cuantitativa. Luego de un periodo de uso de la lección, ésta puede recorrer de nuevo el ciclo de construcción del recurso.

Esta propuesta hace énfasis en la calidad de los productos utilizados en la escuela, se espera que en la medida que el especialista de DS trabaje conjuntamente con los profesores, aumente la rigurosidad en la aplicación de los conceptos de la DS.

5 PLATAFORMA DE INTERNET

Bancar y otros [15] identifican como uno de los elementos esenciales para el desarrollo de la estrategia de integrar la DS en la escuela el fomentar una red global de profesores involucrados en este movimiento. Basados en esta idea y en la propuesta presentada en los ítem anteriores, se crea una segunda versión de la plataforma inicial, implementada en un sitio web, RedDinámica 2.0¹ (ver figura 5). Esta versión permite la participación de tres tipos de usuarios [16]:



Figura 5. Página inicial de RedDinámica

Usuario general: El usuario general es aquel que se registra como estudiante, profesor o invitado; puede acceder a los recursos educativos, proponer experiencias y ser parte de los grupos de desarrollo.

¹ Sitio web dinamizar el proceso de difusión y aplicación de la Dinámica de Sistemas en la educación Colombiana preescolar, básica y media a través de la construcción colectiva del conocimiento.

<http://simon.uis.edu.co/reddinamica>

Usuario experto: Es un usuario con un conocimiento avanzado sobre DS y especializado en determinadas áreas de conocimiento. Además de las opciones a las que tiene acceso un usuario general, el experto tiene acceso a algunas funcionalidades que le permiten asesorar las lecciones de clase enviadas por los usuarios.

Usuario administrador: Persona que se encarga de la administración de los contenidos publicados en el sitio y supervisar el proceso de construcción de las lecciones. El administrador tiene acceso a las mismas opciones que los anteriores usuarios, adicionalmente tiene acceso al módulo de administración.

La plataforma permite a los usuarios realizar el proceso de desarrollo de productos descrito en el numeral 4, ofreciendo servicios que permiten aplicar estrategias de trabajo colaborativo y cooperativo a través comunicación síncrona (en una sala de chat) y asíncrona (envío de mensajes y participación en foros).

Con la elaboración de esta segunda versión de RedDinámica, se ofrecen nuevos servicios a los profesores de las escuelas y otros miembros de la red, se espera la vinculación de los especialistas en DS que puedan aportar al proceso de integración de la DS en la escuela. Además, con la difusión a nivel latinoamericano se busca aumentar el número de participantes fuera de Colombia al trabajo en la red.

6 RESULTADOS

El proceso de integración de DS en la escuela colombiana se realiza desde el año 2004, enmarcado en un programa de formación y acompañamiento para la inserción de TIC en los procesos educativos. En el año 2006 se inicia el proceso de creación de la red de profesores, que se inicia con la participación de 30 profesores de 20 sedes educativas, la red se apoya en el trabajo a través del sitio web, con reuniones presenciales y eventos de socialización para que los profesores puedan escuchar lo que se está haciendo en otras escuelas. En esta dinámica de trabajo han surgido diversas experiencias, algunas motivadas por el promotor de la propuesta y otras surgidas por cuenta de los profesores participantes. A continuación se presenta una breve descripción de dos de las experiencias realizadas en la escuela.

Nombre de la experiencia: Clase integrada de matemáticas (interpretación y análisis de graficas) con software evolución, con el grado once del énfasis técnico en operación de sistemas computacionales.

Institución Educativa: I. E. Departamental Elvia Vizcaíno de Todaro – Aracataca, Magdalena.

Descripción: La experiencia busca estimular el desarrollo del pensamiento variacional a partir de la

interacción con una herramienta de modelado y simulación en la clase de matemáticas. Desarrollada la experiencia con los estudiantes se identifican los siguientes resultados:

- A partir de las gráficas y del modelo construido, los estudiantes pudieron simular el comportamiento de una enfermedad de fácil contagio no curable entre una población numerosa.
- Los estudiantes mostraron un mejor acercamiento al análisis de las gráficas.
- Los estudiantes mostraron mayor interés en el desarrollo de la clase de matemáticas.

Nombre de la experiencia: Jugando y modelando con DS en La Milagrosa.

Institución Educativa: I. E. Departamental Juan Manuel Rudas, sede “La Milagrosa” – Remolino, Magdalena.

Descripción: La experiencia busca promover en los grados 2° y 4° de La Milagrosa el uso de la TI, como facilitadora de la construcción de conocimiento en diferentes áreas, en una forma recreativa con la utilización de la DS. Esta experiencia es una exploración para acercar a niños de grados inferiores por medio la lúdica a las ideas generales de sistema y comportamiento dinámica, utilizando juegos como: el juego de entrada-salida; el juego de entrada salida con cargueros [17]; el juego de las conexiones y el juego de la selva tropical.

Otro resultado es la participación de profesores de sedes educativas en diferentes congresos y eventos, presentando experiencias con DS en la educación, por ejemplo, en el Congreso Colombiano de Informática Educativa, en el VI Congreso Colombiano de DS y el VII congreso Colombiano y Latinoamericano de DS, donde los profesores participaron como asistentes y ponentes con dos experiencias en cada evento. Adicionalmente, se ha realizado en dos ocasiones el coloquio la Dinámica de Sistemas en la escuela, donde profesores y especialistas en DS reflexionan sobre las experiencias de integración de la DS en la escuela.

7 CONCLUSIONES

Esta propuesta de trabajo en red con profesores alrededor del mundo, en particular de Latinoamérica, con los especialistas de DS aportando su saber y experiencia para cualificar los recursos educativos para la escuela, es un aporte para atender la inquietud formulada por Larsson [18], según la cual el pensamiento sistémico en la escuela no ha logrado

involucrar el suficiente público; aún en el 2009 no tiene una amplia visibilidad pública, como lo espera la comunidad de DS.

La vinculación de especialistas de DS desde diferentes áreas del conocimiento debe aportar a la cualificación de los recursos con DS, especialmente en la rigurosidad de los modelos.

El trabajo a través de una plataforma en internet, pone a disposición de un amplio público los recursos y experiencias desarrollados por los colectivos de profesores que han realizado actividades en sus sedes educativas.

Como resultado de las primeras experiencias de trabajo colaborativo se aprecia la necesidad de formalizar la estrategia de trabajo en grupo para la construcción de los modelos. Al respecto, la metodología de construcción de modelos en grupo (GMB, por sus siglas en inglés), puede aportar en este sentido; GMB es un proceso que utiliza la construcción colaborativa de modelos para permitir que las partes interesadas puedan limitar un problema y explorar opciones y alternativas para su solución [19]. Explorar el aporte de la GMB puede propiciar el desarrollo de trabajos futuros, orientando la formalización de la red y el rol de cada uno de sus actores.

8 REFERENCIAS

[1] FORRESTER, J., System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarten through 12th Grade Education, Road Maps 1, System Dynamics in Education Project, 1992, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.

[2] DAVIDSEN, P., BJURKLO, M. y WIKSTRÖM, H., Introducing Systems Dynamics in schools: the Nordic experience, System Dynamic Review Vol. 9, 1993, págs. 165-181.

[3] NAVAS, X. y ANDRADE, H. H., Propuesta informática para la educación en el cambio, basada en ambientes de Modelado y Simulación. Un enfoque Sistémico, [Tesis de Maestría], Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2006.

[4] ANDRADE, H. H. y MAESTRE, G. P., Acompañamiento educativo en el proceso de apropiación de la Tecnología de la Información por comunidades colombianas. - Proyecto Computadores para Educar, Noveno Congreso Iberoamericano de Informática Educativa, Caracas-Venezuela, 2008.

[5] MATURANA, H. y NISIS, S., Formación Humana y Capacitación, Unicef-chile/Dolmen ediciones, Santiago de Chile, 1995, págs. 85-88.

[6] ANDRADE, H. H., GOMEZ, M. y MAESTRE, G. P., Posibilidades y limitaciones para llevar la Dinámica de Sistemas a la escuela, una experiencia colombiana, V Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Buenos Aires-Argentina, 2007.

[7] FORRESTER, Jay W. System Dynamics and K-12 Teachers. Lectura: University of Virginia School of Education. Mayo 30, 1996. disponible en: <http://ocw.alfaisal.edu/NR/rdonlyres/Sloan-School-of-Management/15-988Fall-1998-Spring-1999/D2310653-E3BA-4924-BE64-96C719E4B692/0/teachers.pdf>.

[8] LYNEIS, D. A. y FOX-MELANSON, D., The challenge of infusing system dynamics, The 19th International System Dynamics Society, Atlanta-Georgia, 2001.

[9] CASTAÑEDA, L.R. y ANDRADE, H. H., Sitio Web para facilitar el aprendizaje de la Dinámica de Sistemas en la educación, IX Congreso Nacional de Informática Educativa, Barranquilla, 2008.

[10] DILLENBOURG, P., Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches (Advances in Learning and Instruction- What do you mean by 'collaborative learning'?), Oxford: Elsevier, 1999, págs. 1-19.

[11] CALZADILLA, M. E., Aprendizaje Colaborativo y Tecnologías de la Información y la Comunicación, OEI-Revista Iberoamericana de Educación, 2002.

[12] DILLENBOURG, P., y otros. The evolution of research on collaborative learning. [ed.] E. Spada y P. Reiman. Learning in Humans Machine: Towards an interdisciplinary learning science. Oxford: Elsevier, 1996, págs. 189 – 211.

[13] GROS, B. El ordenador invisible. Primera Edición. Barcelona: Gedisa, 2000. 192 páginas.

[14] ZAÑARTU, L.M., Educrea Centro de Documentación. [En línea] Octubre de 2009. [Citado el: 6 de Septiembre de 2010.] http://www.educrea.cl/documentacion/articulos/aprendizaje/09_aprendizaje_colaborativo.html.

[15] BARCAN, D., y otros. Resumen del documento de trabajo de la reunión. The future of system dynamics and learner-centered learning in k-12 education. [En línea] Traducido por Martin Schaffernicht. [Citado el: 09 de Septiembre de 2010.]

http://dinamicasistemas.utalca.cl/10_DS/DS%20en%20la%20Educaci%F3n.htm.

[16] PINTO, L. P., y otros. RedDinámica 2.0. [Tesis de Pregrado], Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2009.

[17] LARSSON, M.. LEARNING Systems Thinking. The role of semiotic and cognitive resources. Lund university Cognitive Studies, 145, [Tesis Doctoral], 2009 Disponible en: <http://www.lucs.lu.se/Maria.Larsson/Maria.Larsson.2009.thesis.pdf>. ISBN 978-91-977380-6-4.

[18] ANDRADE, H.H. y GÓMEZ L. C., Tecnología Informática en la Escuela, cuarta edición, Bucaramanga, 2006, Capítulo 7, pp. 175-176.

[19] MAGNUSZEWSKI, P. y SENDZIMIR, J., Group Model Building. Connecting Policy and Science through Innovative Knowledge Brokering in the field of Water. 2009. Disponible en: http://public.cranfield.ac.uk/c082621/psi%20connect/documents/psiconnect_factsheet_group%20model%20building_dec2009.pdf.

Estudio de la planeación y desarrollo del proceso de formación profesional integral desde el enfoque del pensamiento sistémico

Óscar Rubiano O., PhD, Mónica Cortés V., Ing., Paulo C. Ramírez, Msc. y
Jasson Trujillo O., Ing.

oscaruba@pino.univalle.edu.co, mcortes@gmail.com, pcramirez@sena.edu.co,
jassont@gmail.com

Resumen: En este artículo se propone una estrategia metodológica sistémica para el proceso de planeación y desarrollo de la Formación Profesional Integral, es decir, caracterizar el punto de apalancamiento para la optimización de su cadena de valor.

El estudio incluye un modelo dinámico de estructuración, definición, simulación y evaluación del sistema. Se presenta una aplicación al proceso de planear, diseñar y evaluar la formulación de proyectos formativos en el marco de las metodologías activas.

El modelo construido permite *realizar seguimiento al proceso de formación desde la planeación hasta su desarrollo curricular*, mediante la caracterización y la simulación de escenario de planeación. El análisis de sensibilidad se realiza a partir de variables de los tiempos totales para la formulación de los proyectos y eficientes en el desarrollo curricular. El modelo se elaboró para un caso específico tomando como referente el Centro de desarrollo tecnológico para la asistencia técnica para la industria nacional CDT ASTIN del SENA, identificando la conectividad entre sus procesos formativos y actores principales en cada una de las actividades desarrolladas para tal fin. (En el desarrollo del estudio se evaluó la planeación, la ejecución y la evaluación implementada en la FPI). Los resultados mostraron que en el alcance del sistema las variables de mayor impacto son la documentación de un banco de proyectos, el seguimiento del proyecto en su proceso curricular y de ejecución y la idoneidad de los instructores a través del desempeño de sus competencias, el seguimiento del proyecto de desarrollo curricular, seguido de la idoneidad de los instructores, a través de sus competencias.

Palabras clave: mejoramiento continuo, Dinámica de Sistemas, simulación, formación profesional integral, formación por proyectos.

Abstract: This article proposes a methodological strategy systemic and dynamic study of planning and development of comprehensive training process, in other words, the leverage to optimize their value chain. The study includes a dynamic model of structure, definition and system simulation. An application to the process for planning, designing and evaluating the development of training projects in the framework of active methodologies. The constructed model allows monitoring the training process from planning through curriculum development, by characterization and simulation of scenarios. The sensitivity analysis is performed using variables of the total times for the formulation of efficient projects and curriculum development. The model was developed for the Technology Development Centre For National Industry CDT ASTIN SENA, identifying the processes and connectivity among its key players.

Keywords: Continuous improvement, system dynamics, simulation, comprehensive training, training by project.

1. INTRODUCCIÓN

En el modelo de desarrollo de una nación, la educación juega un papel muy importante para optimizar procesos tales como generación, asimilación o transferencia de conocimiento y tecnología, esto implica que las organizaciones al crecer en la innovación de sus procesos productivos requieren encontrar en el mercado laboral personas idóneas, eficaces, que contribuyan en el modelo de competencias laborales y con perfil de alta calidad.

Mediante un modelo de competencias laborales de alta calidad y pertinentes en tiempos relativamente cortos.

El reto de las entidades prestadoras de servicios de formación para el trabajo es, entonces, proporcionar un sistema que permita la asimilación de competencias laborales en el aprendiz, con alta capacidad de desempeño y que se haga el mejor uso de los recursos financieros y de capital, articulados al potencial humano, de tal manera, que se logre la mayor cobertura de formación con modelos de gestión del conocimiento e impacto social.

Por lo tanto, se estudia y evalúan cuatro factores determinantes de los resultados del desempeño del sistema de formación profesional titulada del CDT ASTIN del SENA, éstos son: a) la planeación agregada de macro proceso de formación profesional integral, b) el modelo de formulación de proyectos, c) el desarrollo curricular y d) la programación trimestral del proceso formativo. Y en general, se fortalece y se dinamiza la incorporación de una cultura institucional de la calidad, bajo criterios de estándares o normas internacionales, que fortalezca desde la dirección la gestión de la cadena de valor.

En este sentido se considera cómo la institución y respuesta ha evolucionado mediante sus programas de formación y estrategias pedagógicas al resaltar la importancia de estudiar el sistema de formación profesional integral, el cual involucra pensar en la planeación agregada y el desarrollo curricular. Por lo tanto, es necesario caracterizar estos procesos a partir de la descripción de los factores físicos, humanos, el desarrollo de prácticas y metodologías de formulación de proyectos de formación a fin de examinar e identificar las estructuras sistémicas subyacentes en cada uno de ellos y así plantear escenarios de operación que contribuyan a una efectiva formulación de proyectos.

Para el análisis de esta estructura, se considera el enfoque sistémico como una estrategia que permite identificar paradigmas locales e institucionales, mediante los cuales se logra el abordaje circular de la problemática. Esto es, visualizar cuando el pensamiento habitual resulta ineficiente para el manejo de los sistemas, por lo que tiende a ver secuencias simples de causa y efecto, limitadas en espacio y tiempo, en lugar de una combinación de factores que se influyen mutuamente (O'Connor y McDermott, 1998, Senge, 1993).

Como caso de estudio en este trabajo se seleccionó el proceso de formación integral de un centro de formación del SENA de la ciudad de Santiago de Cali, Colombia.

A continuación, se hace la presentación del problema, la simulación del sistema, el análisis de los resultados y su comportamiento- las ventajas y las limitaciones-. Finalmente se presentan las conclusiones sobre los resultados.

2. ARTÍCULO

El CDT ASTIN, es uno de los 114 centros del SENA que ofrecen servicios tales como Formación Profesional Integral (FPI) y servicios tecnológicos a empresas en todo el territorio nacional en los sectores del plástico y metalmecánico, los servicios de FPI se caracterizan por estar en dos niveles: Técnico y Tecnólogo, a los cuales los clientes- usuarios acceden para formarse mediante un enfoque modelo basado en competencias laborales y mediante una estrategia pedagógica denominada Formación por Proyectos. Aprendizaje por proyectos.

En los procesos FPI del SENA en el centro ASTIN, se establecen seis fases básicas para adelantar la programación anual:

- Asignación de metas.
- Establecer oferta educativa.
- Desarrollo curricular.
- Formulación de proyectos.
- Desarrollo del proceso de formación.
- Certificación.

Durante la planeación y el desarrollo de cada una de estas fases se solicita a los procesos administrativos diferentes tipos de recursos: la contratación de personal, materiales de formación, alquiler de instalaciones, servicios públicos, alimentación, transporte, mantenimiento de maquinaria y equipos.

El estudio de problema se suscribe a la fase de formular y aprobar los proyectos formativos (figura 1), puesto que se presenta como el pilar del proceso de formación. En esta fase se detallan todos los recursos posibles para adelantar con éxito la formación del aprendiz retroalimentando la planeación agregada, es decir, tomar la información de la planeación estratégica y traducir, en la operación del centro, para un determinado periodo del centro, mediante la formulación de proyectos e influyendo directamente en la calidad de los procesos adyacentes. Este modelo está basado en paradigmas asociados a la calidad de la incorporación del conocimiento mediante la implementación de metodologías activas.

Es interesante tener en cuenta que la organización ha invertido recursos importantes en la implementación de las asesorías pedagógicas personalizadas al instructor para procurar cubrir su poca preparación pedagógica, a pesar de presentar una gran experiencia en el tema técnico asociado a su contratación. Esta situación se da debido al incremento significativo en las metas de aprendices formados y por consiguiente, el número de instructores incorporados al proceso formativo.

Es de aclarar que en la fase de diseño y desarrollo curricular se establece como centro del negocio del SENA -el proyecto- permite realizar la planeación, seguimiento y evaluación del proceso de formación.

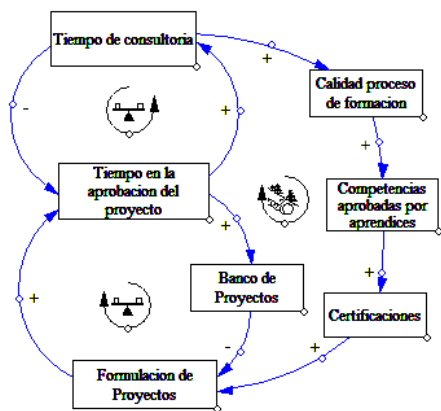


Figura No. 1. Arquetipo desplazamiento de carga

La figura 1 describe las relaciones del sistema, en donde se aprecia que para reducir los tiempos de aprobación de proyectos se aumenta el tiempo de consultoría por parte de los instructores, como una solución rápida alejando el sistema de la fuente real del problema, por lo que se plantea implementar un banco de proyectos que refuerce el tiempo de aprobación de los mismos.

Durante las vigencias de los años 2009 y 2010, en el centro ASTIN se presentó un incremento de las metas de formación en 250% debido a las políticas de gobierno, las cuales solicitan a la organización formar en este periodo de tiempo 250 mil personas adicionales para atender las condiciones económicas de la nación y responder con el mismo nivel de calidad y pertinencia a través de un nuevo y ventajoso paradigma: formación por proyectos y basado en normas de competencia laboral.

Pese a las grandes ventajas de este nuevo estándar, el crecimiento exponencial de las metas genera restricción para la asignación y planeación por los recursos suministrados, obligando al modelo actual a

ajustar significativamente las estrategias de distribución de recursos, así como la evaluación de los resultados esperados por las premisas del mercado laboral.

El estudio inicia con la identificación de síntomas factores no deseados en los resultados del proceso de formación profesional integral. Algunos de éstos son:

Incremento de los proyectos no aprobados.

Inicio del proceso de formación sin proyecto formativo, generando reprocesos tales como desajustes, desarticulación en los procesos de aprendizaje de formación y la necesidad de reprogramar actividades adicionales para garantizar los tiempos de permanencia del aprendiz en las acciones de formación, originando en consecuencia variabilidades en los costos del proceso de desarrollo curricular así como en los de formación.

Mediante el trabajo del equipo de mejoramiento continuo del comité primario del centro se identifican las siguientes causas derivadas del problema:

CAUSAS DERIVADAS DEL PROBLEMA

1. Los instructores seleccionados no poseen la formación pedagógica requerida.
2. La inducción al proceso de formación por parte de los instructores no presenta componentes específicos de los procesos de enseñanza y aprendizaje.
3. La falta de ideas de proyectos para aplicar mediante los proyectos.
4. El tiempo en la planificación del desarrollo curricular es muy corto.
5. Elevados niveles de reproceso.
6. Incremento en un 120% de la modalidad de instructores por contrato.

El problema se resume en:

La planeación y desarrollo del proceso de formación profesional integral no garantiza la optimización del potencial humano ni los recursos físicos en aras de alcanzar los resultados propuestos.

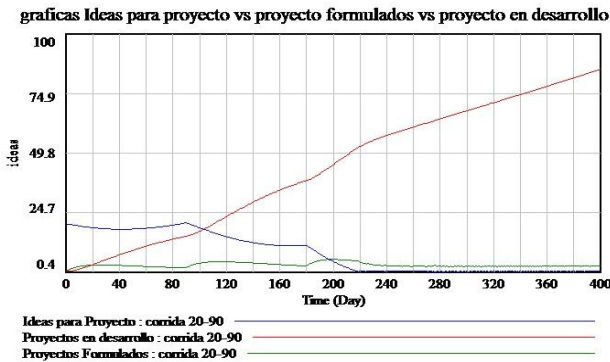
2.1 DIGRAMA DE FORRESTER

Mediante el diagrama de Forrester, (Figura 2) que muestra las variables y las relaciones entre todo el proceso de formulación y aprobación de los proyectos, se considera un banco de ideas de

proyecto, el cual contribuye a la disminución del tiempo de formulación de los proyectos por parte del instructor.

Aquí se evidencia el hecho que en repetidas ocasiones se inicia el proceso formativo y no se dispone del proyecto de manera oportuna, disparando los diferentes riesgos de gestión del centro.

GRÁFICA DEL PROBLEMA CON LOS DATOS ORIGINALES.



Grafica1. Figura ejemplo

La grafica 1 muestra el comportamiento de las variables de nivel, ideas de proyectos y proyectos formulados. Se concluye que no logra el objetivo general de 100 proyectos en desarrollo en un periodo de 400 días, ya que las ideas de proyectos iniciales son escasas y no se cuenta con un flujo de proyectos para su formulación, lo que hace que este valor tienda a cero.

2.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Al realizar el análisis de sensibilidad se logran identificar las variables relevantes del problema que afectan la disminución y reformulación de los proyectos aprobados.

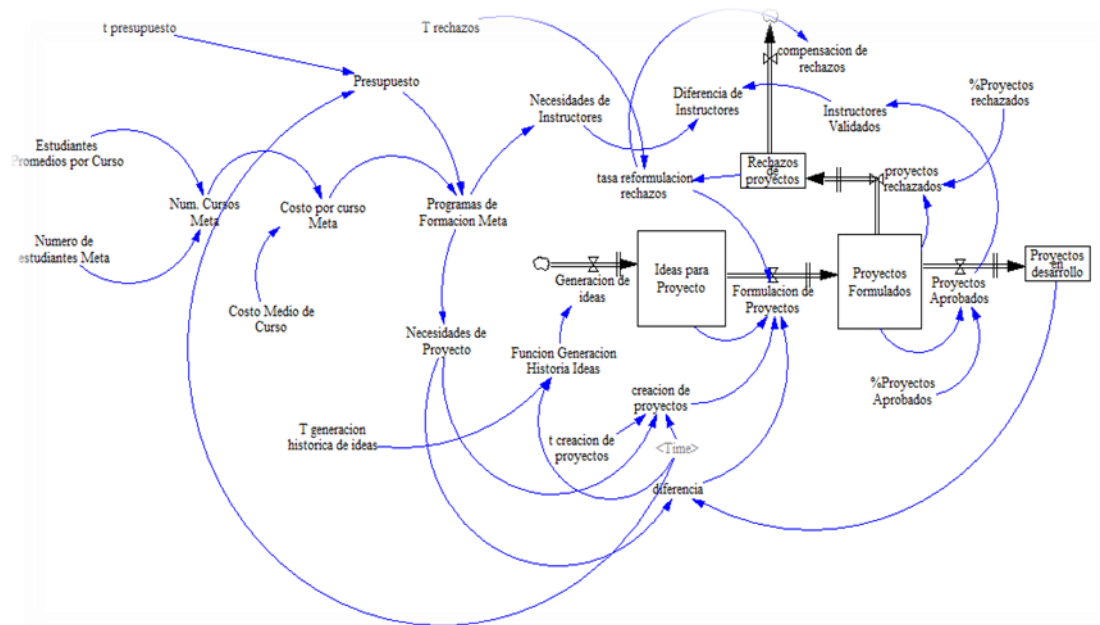


Figura No. 2. Diagrama Forrester.

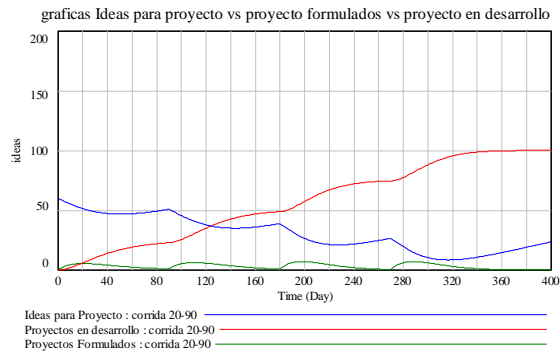
Teniendo en cuenta lo anterior, se propone, cómo la documentación y administración adecuada de un banco de proyectos permite optimizar los diversos tiempos empleados, tanto en el proceso de

formulación como en la evaluación de los proyectos. Este mecanismo toma valor puesto que la organización está planteando la estrategia de realizar el ingreso permanente de aprendices, es decir, cada

persona se puede matricular se disponga o no de grupo para iniciar su formación, volviendo esta fase cada vez más crítica.

Es interesante considerar las fuentes para expresar las ideas de proyectos, esto dado que la organización juega un papel determinante en el desarrollo de la nación en múltiples líneas tecnológicas.

GRÁFICA DE LA PROPUESTA MEJORADA



Grafica2. Figura ejemplo

La grafica 2, muestra la solución con los ajustes mejorados. Se concluye que con 60 ideas de proyecto a una tasa de 40 días, se cumple con el objetivo al finalizar el periodo.

2.3 CONCLUSIONES

En este estudio se realizó una aplicación de los principios de la Dinámica de Sistemas y se desarrolló una metodología sistemática para la evaluación de la planeación y evaluación de los proyectos formativos desarrollados para adelantar el proceso de formación profesional integral en el centro ASTIN del SENA.

Los resultados obtenidos conducen a caracterizar como punto de apalancamiento, un banco de proyectos. Sin embargo, si se desea impactar altamente la calidad de la planeación y evaluación del proceso formativo, es necesario intervenir en gran medida los atributos identificados mediante el análisis. Se puede concluir en este estudio que la calidad está determinada en buena medida por el buen desarrollo y generación de proyectos formativos que ayuden de manera contundente a desarrollar en los aprendices altos niveles de conocimiento.

La búsqueda del tema adecuado al programa de formación y formulación del proyecto formativo incide directamente en la calidad de la formación, permitiendo entre otras cosas un mecanismo de control y seguimiento al avance de la incorporación

de conocimiento en el aprendiz, facilitando un seguimiento estratégico de los procesos de desarrollo curricular y de ejecución de la formación por parte de todos los actores del proceso.

La estrategia propuesta puede estandarizarse para el estudio de este tipo de sistemas de prestación de servicios de formación, pues es muy apropiada para identificar actividades que no agregan valor, a partir de un estudio e identificación sistémica de puntos de apalancamiento. Los desperdicios identificados fueron: excesivo consumo de recursos y talentos para lograr que los proyectos sean formulados, evaluados y aprobados, reprocesos de formación y aumento significativo de tiempo de los aprendices en formación, afectando de manera directa los costos de contratación de instructores.

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLARDYN, Danielle, Quality assurance in Continuing Vocational Training, European Vocational Training Foundation, Turin, 1996 (pp 17).

GAVIRIA, Alejandro; BARRIENTOS, Jorge, Determinantes de la calidad de la educación en Colombia, (Bogotá, Departamento Nacional de Planeación DNP, 2001), 40.

HOLLINGSWORTH, David, The Workflow Reference Model, Workflow Management Coalition, Hampshire, UK, 1995.

KANG, Kyung Min; JAE, Moosung. A quantitative assessment of LCOs for operations using system dynamics, Journal of Economic Dynamics & Control, 26 (2002) 1}10.

KHAN, Shahbaz; YUFENG, Luo; AHMAD, Aftab. Analysing complex behaviour of hydrological systems through a system dynamics approach, Environmental Modelling & Software xx (2007) 1e10.

MORALES, Patricia; LANDA, Victoria. Aprendizaje basado en problemas Problem based learning, Theoria, Vol. 13, pp. 145 – 157, 2004.

SMITH, Peter C.; ACKERE, Ann van Ackere. A note on the integration of system dynamics and economic models, Journal of Economic Dynamics & Control, 26 (2002) 1}10.

SPECTOR, J. Michael; DAVIDSEN, Pal. Creating Engaging Courseware Using System Dynamics, Computers in Human Behavior, Vol. 13, No. 2, pp. 127-155, 1997.

VARGAS ZÚÑIGA, Fernando. La gestión de la calidad en la formación profesional, el uso de

estándares y sus diferentes aplicaciones, Organización Internacional del Trabajo (Cinterfor/OIT), Montevideo, 2003 (pp 7)

ZUÑIGA, Luis Enrique. Metodología para la Elaboración de Normas de Competencia Laboral, (Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 2003), 3 - 5.

University of Dundee. (2005). An Introduction to Matlab Version 2.3. David F. Griffiths.

<http://www.maths.dundee.ac.uk/~ftp/na-reports/MatlabNotes.pdf> (accessed March 20, 2009).

CENTRO ASTIN SENA (Centro Nacional para la Asistencia Técnica a la Industria del Servicio Nacional de Aprendizaje). 2009. Plan Operativo Anual para la vigencia 2009, SENA, Cali, Colombia.

O'CONNOR, Joseph y MCDERMOTT, Ian. Introducción al Pensamiento Sistemico, Editorial Urano. 1998.

SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje). (2008). Gestión del SENA 2002 – 2007.

SENGE, Peter M., La quinta disciplina. Cómo impulsar el aprendizaje en la organización inteligente. Ediciones Granica S.A., 1993.

4. ABREVIATURAS

ASTIN: Asistencia Técnica a la Industria Nacional.

SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje

CDT: Centro de Desarrollo Tecnológico.

FPI: Formation Professional Integral.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CDT ASTIN, del SENA, por facilitar la información pertinente para el caso de estudio.

Efecto de las políticas de ampliación de cobertura de la educación superior colombiana. Una perspectiva desde la Dinámica de Sistemas

Aristides Cabana G., Henry D. Fabra, Juan J. Sierra, Janer D. Pontones A.
cienti89@hotmail.com, hdfabr@gmail.com, jota853@hotmail.com, pontonesaviles@gmail.com
Grupo GIAO, Universidad del Magdalena.

Resumen: Esta ponencia pretende identificar los efectos a largo plazo producidos por las políticas de ampliación de cobertura que propone el Estado en la Educación Superior Colombiana, debido a que al momento de ser implementadas es notorio el incremento en la población universitaria, pero no tiene en cuenta el impacto que tendrán las oportunidades de empleo que ofrece el sector laboral para los recién graduados, que de una u otra manera pueden disminuir o aumentar el interés de los aspirantes a su formación profesional.

Es por esto que el pensamiento sistémico y la Dinámica de Sistemas pueden ayudar, por medio de modelos de simulación por computadora, a explicar qué tan productivas son las oportunidades que brinda el Gobierno con estas políticas, teniendo en cuenta que para muchas áreas del conocimiento existe una mayor o menor oportunidad laboral en Colombia, y esto también debe ser factor importante en la toma de decisiones de las políticas implementadas.

Palabras Clave: cobertura educativa, Dinámica de Sistemas, educación superior, población estudiantil universitaria, políticas educativas, pensamiento de sistemas.

Abstract: This report pretends identify the effects to long-term produced by policies to expand coverage which propose the State in the Colombian Higher Education, but does not take into account the impact it will have employment opportunities offered by the employment sector for graduates, which in one way or another may decrease or increase the interest of applicants to their training.

This is why systems thinking and system dynamics can help, by means of computer simulation models to explain how productive are the opportunities offered by the Government to these policies, taking into account that for many areas of knowledge

exists more or less job opportunity in Colombia, and this should also be an important factor in making decisions on the policies implemented.

Key words: educational coverage, educational policies, higher education, system dynamics, systems thinking, university student population.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la sociedad en general ha avanzado en diferentes áreas del conocimiento y con esto incrementa la necesidad de contar con personal capacitado que ayude a mantener este desarrollo. Ante esto el Gobierno Nacional opta por ampliar la cobertura de la educación superior por medio de becas, crédito, cofinanciación, aporte económico a las universidades que permitan otorgarles a los aspirantes los conocimientos necesarios para contribuir de forma activa a la sociedad. No obstante, a medida que se incrementa el desarrollo de estas áreas aumenta la rigurosidad para elegir personal cualificado. La investigación titulada “*Efecto de las Políticas de Ampliación de Cobertura de la Educación Superior Colombiana*” se planteó con el propósito de identificar factores que afectan el comportamiento del sistema, producto de estas políticas. La ampliación de la cobertura es el mecanismo por medio del cual las instituciones de educación superior intentan aumentar continuamente la cantidad de educandos dentro de sus universidades. No obstante, si bien en cierto tiempo cuando éstas se implementan se consigue el objetivo, al poco tiempo no se mantiene la tendencia esperada; se presentan nuevamente disminuciones en la población estudiantil universitaria, incluso en niveles mucho más bajos que antes de implementar la política.

Por este sentido, la Dinámica de Sistemas puede ayudar a analizar la productividad de las políticas de ampliación de cobertura que son efectuadas por el Estado, contando con que para muchas áreas del

conocimiento existen mayores o menores oportunidades de empleo en Colombia.

Para la realización de este artículo fue necesario tomar como referencia el artículo titulado “*The Economics of Education: is it Profitable to be Ignorant?*” [1] por Michael Quigley, de la University of Salford, el cual muestra cómo la implementación de políticas en el Reino Unido para la ampliación de la cobertura de los estudiantes de Educación Superior se incrementa de un 43% a un 50%. El autor también hace énfasis en el aumento de los costos para asistir a las universidades, la cual podría alterar la rentabilidad de la educación superior.

2. SISTEMA EDUCATIVO COLOMBIANO

El marco legal de la educación en Colombia consta de unos principios fundamentales, los cuales se encuentran establecidos en la Constitución Política de 1991 con base en un proceso de concertación y coordinación bastante amplio entre diversos enfoques y tendencias sobre el desarrollo educativo del país [5]. A partir de esta consignación constitucional, se formuló en 1994 la Ley General de Educación (Ley 115 de 1994).

2.1 NIVELES DE ENSEÑANZA

“La educación formal se organiza en cuatro niveles: Preescolar, Básica, Media y Superior. Los niveles son etapas del proceso de formación de la educación formal, con objetivos definidos por la Ley y se asumen socialmente como indicadores del grado de escolaridad alcanzado por un ciudadano” [5] En el presente estudio se abordan las políticas que cobijan la Educación Superior.

La EDUCACIÓN SUPERIOR es un servicio público cultural, inherente a la finalidad social del Estado. La Ley 30 de 1992 organiza el servicio público de la educación superior y lo define como un proceso permanente que posibilita el desarrollo de las potencialidades del ser humano de una manera integral. Se realiza con posteridad a la educación media y tiene por objeto el desarrollo de los alumnos y su formación académica o profesional. El Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES) es el organismo encargado de dirigir la educación superior en Colombia.

Son aceptadas como instituciones de la Educación Superior las instituciones técnicas profesionales, las instituciones universitarias o escuelas tecnológicas y las universidades.

Las instituciones técnicas profesionales son aquellas facultadas legalmente para ofrecer programas de formación en ocupaciones de carácter operativo e instrumental y de especializaciones en su respectivo campo de acción. Son instituciones universitarias o escuelas tecnológicas aquellas facultadas para adelantar programas de formación en ocupaciones, programas de formación académica en profesiones o disciplinas y programas de especialización. Son universidades las reconocidas actualmente como tales y las instituciones que acrediten su desempeño con criterio de universalidad en las actividades de investigación científica o tecnológica, la formación académica en profesiones o disciplinas y la producción, desarrollo y transmisión del conocimiento y de la cultura universal y nacional.” [5].

La Educación Superior en Colombia tiene interés en promover el desarrollo económico. Uno de los aspectos para contribuir con esto es la formación investigativa, como también el fácil acceso a ella. Las necesidades de desarrollo económico en la era del conocimiento deben estar sostenidas bajo una creciente inversión en educación superior para soportar esta estructura.

Es importante tener en cuenta que los modelos educativos son fundamentales para el desarrollo económico y la promoción de investigaciones que ayude a la generación de tecnología e innovación, aplicada a la industria y que contribuyan a su organización.

3. POLÍTICAS DEL ESTADO COLOMBIANO

El Estado colombiano ha implementado diversas políticas de Educación Superior, enfocadas hacia la calidad, cobertura, pertinencia laboral, capacitación técnica, investigación científica, etc. De todas estas directrices el artículo hace énfasis en la cobertura, es decir, el crear cupos nuevos, ampliar los créditos con el Icetex, etc.

La financiación de la educación nacional ha estado en constante crecimiento, el cual es notorio cuando se invierten más recursos destinados a este sector, como también el esfuerzo en los últimos años por parte del Estado para mantener esta constante de crecimiento. A pesar de que la cobertura universitaria ha mejorado, estas políticas pueden producir efectos contrarios a los esperados; la estructura del sector educativo no es tan simple y, como sistema, se interrelaciona con otras estructuras u otros sistemas como el sector económico, el cual a su vez es influenciado por dicho sector educativo. La

influencia del sector educativo en el económico se refleja porque entre los objetivos fundamentales de las instituciones de educación superior está el de contribuir con el desarrollo económico del país.

Por otra parte en la actualidad el crecimiento económico de cualquier país ha estado influenciado en gran parte por la llamada era del conocimiento, y por tanto, la Educación Superior debe responder a estas necesidades. La educación universitaria y su aporte al desarrollo económico están condicionados por la relación que existe con las empresas. Es aquí donde el Estado debe jugar un papel importante en las políticas que implementa, puesto que como se ha mencionado, estos sistemas deben contar con la capacidad de soportar tanto las oportunidades en puestos de trabajo que existan en el país como la oferta de profesionales para ocuparlos.

Para el análisis de la educación superior en Colombia y la influencia que tiene en aportes al desarrollo económico del país, es importante mencionar y examinar unas estadísticas mostradas por la entonces Ministra de Educación Cecilia María Vélez White, efectuadas en el año 2001- 2008, las cuales “muestran un crecimiento del 25 por ciento en títulos otorgados. En este período se entregaron en total 1'243.271 títulos de educación superior, de los cuales 1'174.297 fueron otorgados por las Instituciones de Educación Superior (IES), mientras que 68.974 fueron entregados por el Sena.

Por otro lado, la Ministra destacó el incremento de ingreso a la Educación Superior de los estratos más bajos en los últimos años.

En el 2003 había un 23 por ciento neto de la población de estrato 3 con educación superior y para el año 2008, la cifra aumentó al 41 por ciento.

Según la Ministra, es muestra de que los más pobres están accediendo cada vez más a la educación superior, sobre todo, en programas de formación técnica y tecnológica” [6].

A continuación se mostrarán los resultados de la estadística.

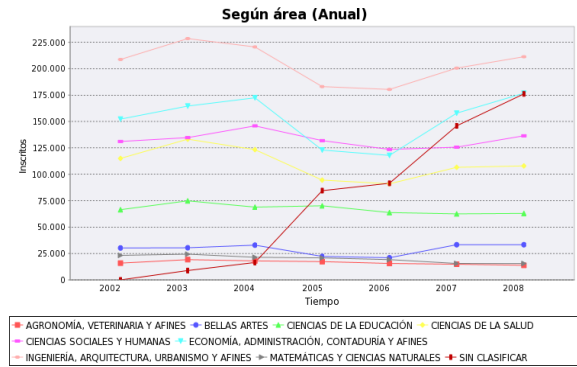


Figura 1. Perfil de inscritos en Colombia

Para la Figura 1 se puede notar, entre los años 2002 a 2008, que la mayor cantidad de inscritos predominan en áreas como las ingenierías, arquitectura, urbanismo y afines; mientras que los menores índices se encuentran en áreas como la agronomía y veterinaria. Éstos pueden ayudar a entender en qué áreas del conocimiento se concentra el mayor número de aspirantes para el ingreso a la educación superior en Colombia.

En la Figura 2 se muestra un perfil de graduados en Colombia durante el tiempo en que se elaboró la encuesta.

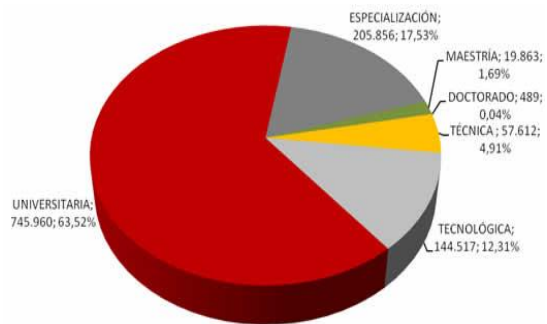


Figura 2. Perfil de graduados en Colombia

Al descomponer el gráfico anterior se observa que la mayor población de estudiantes de Educación Superior se encuentra en pregrado con un aproximado de 63.5%, seguido de la tecnológica con un 17.2% y por último con un porcentaje de 19.3% aquellos estudiantes que logran llegar a postgrados. Esto indica que la concentración de estudiantes se encuentra en los de pregrado. Esto puede ser debido a la expectativa de tener un empleo y de la obtención de un título profesional, después de la culminación de la carrera.



Figura 3. Graduados en Educación Superior por áreas del conocimiento 2001-2008

En la **Figura 3** se puede observar que en las carreras afines empresariales se otorga una mayor cantidad de títulos en Colombia, mientras que áreas como la agronomía y veterinaria poseen menos capacitados por año.

Es importante resaltar, de acuerdo al informe del Observatorio Laboral del Ministerio de Educación [8], una lista de remuneraciones por área de estudio para los graduados de las universidades, el cual refleja un promedio de ganancia entre las carreras del sector que tengan una formación universitaria [11]:

- Ingeniería, arquitectura y urbanismo: Ingreso promedio de \$1'955,228 mensuales.
- Matemáticas y ciencias naturales: \$1'794,194 de ingreso promedio mensual.
- Ciencias sociales y humanas: Ingreso de \$1'675,897 promedio al mes.
- Economía, administración y contaduría: \$1'672,644 de ingreso promedio mensual.
- Bellas artes y afines: Ingreso promedio de \$1'598.188 al mes.
- Agronomía, veterinaria, zootecnia y afines: \$1'385,871 de ingreso promedio mensual.
- Educación: \$1'079,119 de ingreso promedio al mes.

Según esto, el área con mejor remuneración corresponde a la ingeniería, arquitectura y urbanismo, mientras que la menos remunerada se encuentra en las áreas de agronomía, veterinaria y afines, y la educación. Con respecto a las ingenierías y a las ciencias agronómicas, estos resultados se ven reflejados en las aspiraciones personales de los futuros inscritos para el ingreso a las universidades.

Por otra parte, la **Figura 4** muestra cómo se encuentra la situación laboral de los egresados de la Educación Superior en el sector formal de la economía.

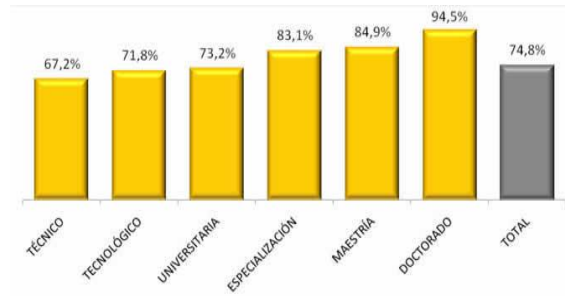


Figura 4. Situación laboral de egresados de la Educación Superior

Según ella, entre mayor sea el nivel de Educación Superior mayor es la probabilidad de estar vinculado al sector formal de la economía, y por supuesto es donde se pretende laborar para obtener un mayor beneficio económico.

Tabla 1. Salario promedio para graduados 2001-2008.

AÑO DE GRADO	IBC EN 2008
2001	\$ 1.963.355
2002	\$ 1.956.413
2003	\$ 1.860.990
2004	\$ 1.848.328
2005	\$ 1.789.023
2006	\$ 1.737.423
2007	\$ 1.528.679
2008	\$ 1.448.587

Puede notarse en la **Tabla 1** que la cuota de experiencia es un factor que prima en la obtención salarial para graduados de un pregrado (los graduados en el año 2001 devengan mayor cantidad que uno que ingresa a laborar después de graduarse en el año 2008). Uno de los elementos que incentiva a los recién graduados a continuar su formación es que a mayor nivel de capacitación profesional mayor será el beneficio económico, como se muestra en la **Figura 5:**

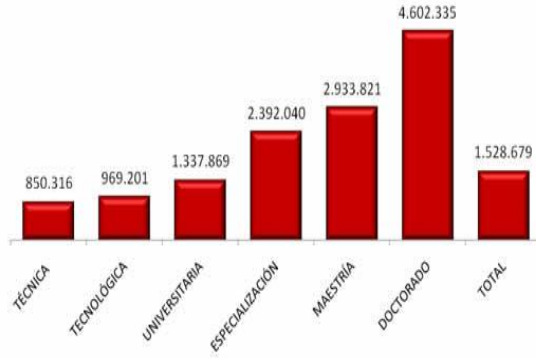


Figura 5. Salario de entrada para graduados por nivel de formación

5. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

5.1 METODOLOGÍA

Los problemas en la actualidad son cada vez más difíciles de abordar. Estos sistemas a medida que evolucionan con el tiempo son mucho más complejos que antes, es por esto que surge la necesidad de usar una metodología de trabajo que abarque y contribuya a tratar con esta complejidad.

Para abordar la articulación de esta investigación, la Dinámica de Sistemas entra en acción, Sterman define en su libro “*Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*” cinco pasos para considerar el buen desarrollo del proceso de modelado, además el autor indica sobre éste que “*Modelar es un proceso de realimentación y no una secuencia lineal de pasos*” [4], estos procesos se ilustran en **Figura 6**.

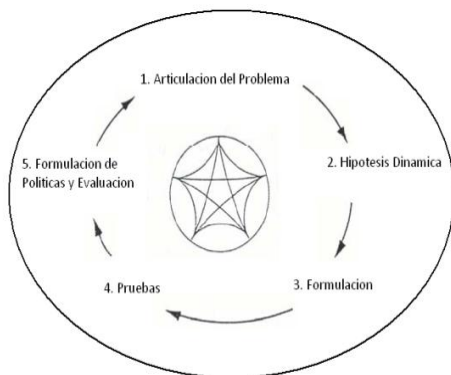


Figura 6. Pasos de desarrollo de procesos de modelado

5.2 REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

Para ayudar a describir el problema utilizando como principal metodología de estudio la Dinámica de Sistemas, se elaboró un Diagrama Causal y un Diagrama de Forrester, que muestra el efecto de las políticas del Estado al impulsar el aumento de la participación de la población en el ingreso a la Universidad. Los graduados son otro actor importante a tener en cuenta en el problema, debido a que contribuyen con la evolución económica del país a largo plazo, en una economía basada en el conocimiento. Los deseos de los egresados a contribuir con el país tienden a verse afectados, debido a las pocas oportunidades de empleo que existen actualmente, y los pocos empleos que existen en el país no son inmediatamente ocupados por los recién graduados, debido a que carecen de experiencia. Esta brecha observada usualmente tiende a ser un problema típico de oferta y demanda que ocurre a partir de las interrelaciones del sector económico y el sector de la Educación Superior.

La población estudiantil normalmente desea matricularse en la universidad para alcanzar mejores oportunidades en la vida; motivación que usualmente es el resultado de las aspiraciones personales y a la necesidad de aquellas personas a concebirse útil para la sociedad, además que puedan obtener beneficios económicamente aceptables. En las **Figuras 7 y 8** se ilustra el problema, tanto en el Diagrama Causal como en el Diagrama de Flujo y Nivel.

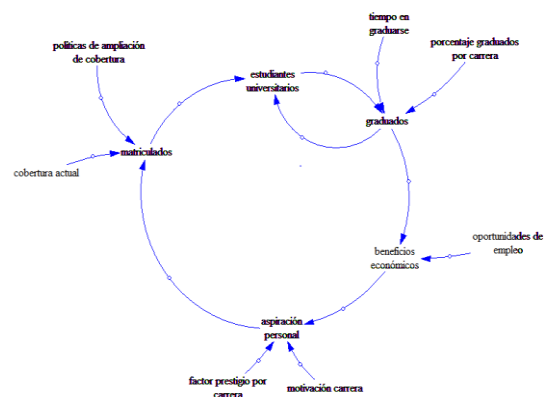


Figura 7. Diagrama Causal del problema.

La **Figura 7** muestra el Diagrama Causal, el cual ayuda a entender mediante esta perspectiva la articulación del problema. En dicho diagrama se puede notar un ciclo causal, el cual está compuesto por 5 variables de influencia, las cuales son: matriculados, estudiantes universitarios, graduados, beneficios económicos y aspiración personal. A

continuación se dará una breve descripción de tres de ellas, las cuales son las más útiles para entender este problema.

- **Graduados:** como anteriormente se ha mencionado, los graduados juegan un papel importante para ayudar a representar el problema. Esta variable significa el esfuerzo y tiempo empleado de un estudiante para egresar de las universidades, además del ideal de concebirse como profesionales, ya que gracias a obtener este título es más fácil pretender entrar al sector del empleo calificado.
- **Beneficios económicos:** con esta variable se logra representar el deseo de obtener beneficios económicamente aceptables por los estudiantes al graduarse y poder conseguir un empleo con buena remuneración, pero por otra parte al no existir suficientes puestos de trabajo calificado, puede causar un desinterés en la sociedad para considerar como mejor opción ingresar a la universidad.
- **Aspiración personal:** esta variable se consideró muy importante para el modelo al ser muy influyente, ya que inicialmente las aspiraciones personales de cualquier joven para hacer parte de la universidad son altas, y dependen del factor prestigio de la carrera y de la motivación que el joven tenga por la misma. Estos factores de motivación se deben a las creencias acerca de los beneficios económicos que pueda traer si escoge estudiar una carrera determinada. No obstante, cuando el estudiante se gradúa y las oportunidades de empleo son bajas, no solo se desmotiva por el hecho de no encontrar empleo sino que se forma una mentalidad negativa hacia la educación formal universitaria, lo cual transmite a su entorno, contribuyendo así a la disminución de la motivación y por ende de las futuras aspiraciones personales de otros jóvenes.

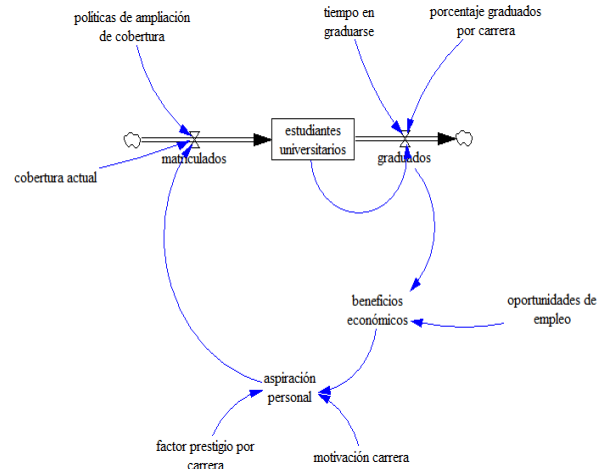


Figura 8. Diagrama de Forrester del problema

Como se puede notar en la **Figura 8**, mediante la representación del problema en un Diagrama de Forrester, se observa la dinámica de las universidades, donde los recién graduados son los principales actores para mostrar cómo la intervención del Estado al contribuir con políticas de ampliación de cobertura en la Educación Superior Colombiana, produce un efecto inverso al pretendido inicialmente por el mismo Estado, que es el aumento constante de la población universitaria. Esto se debe a la insatisfacción que existe entre las oportunidades de empleo que ofrece nuestro país actualmente a los recién graduados y la abundante demanda de profesionales.

6. RESULTADOS

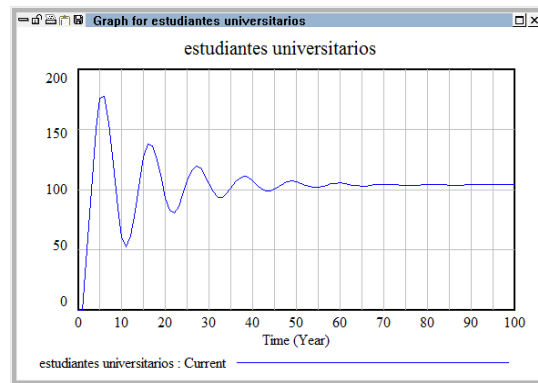


Figura 9. Población de universitarios sin la inversión del Estado.

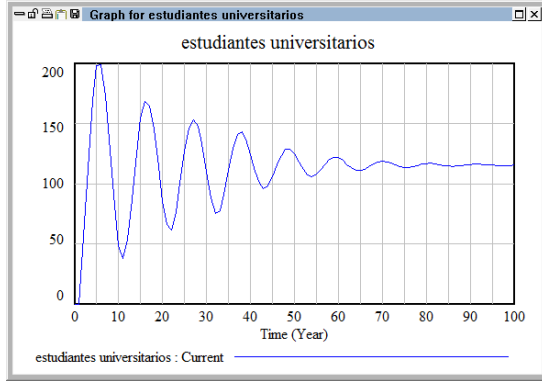


Figura 10. Población de universitarios con la inversión del Estado.

En las **Figuras 9 y 10** se muestran los resultados de la elaboración del modelo. Estas arrojan una serie de variaciones en cuanto al número de personas que se encuentran estudiando una determinada carrera universitaria, dependiendo del factor prestigio que posea. En cuanto al primer modelo, inicialmente la población universitaria sufre unas variaciones, pero luego de un determinado tiempo se estabiliza. Esto se debe al comportamiento que el sistema genera a partir de la interacción de las variables que componen la situación-problema y, principalmente, del flujo de graduados, que provoca la disminución de la población universitaria. En el segundo modelo, donde se incrementa la inversión del Estado, o las políticas de ampliación de cobertura que aumentan los cupos disponibles, se observa inicialmente un aumento mucho mayor del número de estudiantes con respecto al primer modelo, pero en el mediano plazo esta cantidad disminuye a unas cifras menores que la mostrada en el primer modelo. La **Figura 10** también muestra unas variaciones mucho más prolongadas en el tiempo y por ende tardan más en equilibrarse.

Cuando se aumentan las oportunidades de empleo a un número mayor que la cantidad de matriculados se obtiene un gráfico similar a la simulación de poblaciones universitarias sin inversión del Estado, mostradas en la **Figura 9**; debido a que si la oferta supera la demanda el sistema tendrá comportamientos normales, de acuerdo con la interrelación de cada una de las variables descritas en el modelo.

Cabe resaltar que los resultados de esta simulación varían de acuerdo al factor prestigio que el estudiante ha conceptualizado sobre la carrera y al porcentaje de graduados por carrera. Por ejemplo, para el caso de las ciencias administrativas y empresariales, ciencias de la salud, ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines, el sistema se comporta tal cual como los esquemas de la **Figura 9 y 10**; aunque en menor grado para las ciencias de la salud y las ciencias

administrativas, por tener factores de prestigio menores a las ingenierías.

Por otra parte, para las áreas de menor demanda o de menor factor prestigio, y también de porcentajes de graduados menores, como las bellas artes, las matemáticas, ciencias naturales, agronomía, veterinaria y afines, no se presentan variaciones o disminuciones como ocurría en las carreras de mayor prestigio. Por el contrario, la simulación muestra un aumento progresivo del número de estudiantes hasta un instante de tiempo en donde ésta intenta estabilizarse, como lo muestra la **Figura 11**.

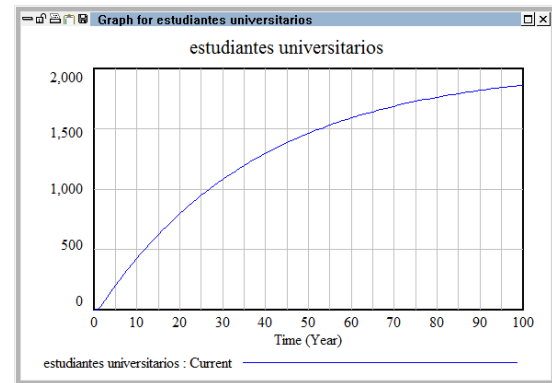


Figura 11: Población de estudiantes universitarios para las áreas de menor prestigio.

6. CONCLUSIONES

El Gobierno Nacional, dentro de su proyecto de Revolución Educativa [9], considera indispensable aumentar la cobertura de la educación no solo la superior sino la de los demás ciclos formativos, como la básica y la media, a la mayor parte de estudiantes en los diferentes lugares de Colombia, debido a la transformación económica que vive el país en el momento, con el propósito de lograr la igualdad ciudadana y una mayor competitividad en cuanto al conocimiento aplicado.

La población estudiantil universitaria presenta una serie de comportamientos variados ocasionados naturalmente por la cantidad de estudiantes que terminan el ciclo académico y proceden a graduarse como profesionales, en especial para las carreras de mayor “prestigio”. Cuando se presenta la implementación de las políticas del Estado encaminadas al aumento de la población estudiantil en la educación superior colombiana, resulta ser una solución que al largo plazo tendría unos efectos no tan esperados como las pretendidas inicialmente al momento de implantarse dichas políticas, especialmente para las carreras de mayor demanda o de mayor “prestigio”, considerado por los mismos estudiantes. Inclusive las variaciones en la población

universitaria al mediano y largo plazo tardan más tiempo en estabilizarse, de acuerdo con la simulación del modelo.

La razón principal de ello recae en que las oportunidades de empleo dadas actualmente en el sector laboral pueden ser más bajas que la cantidad de estudiantes recién graduados, ocasionando así un impacto a largo plazo en la población universitaria, debido a la disminución de los inscritos en la universidad.

Cabe resaltar que para las carreras de menor demanda o “prestigio” no se presentan variaciones negativas en el número de estudiantes universitarios, al mediano y largo plazo se presenta un aumento progresivo de éstos en las universidades, puesto que la poca demanda de aspirantes a estas carreras junto con la poca cantidad de graduados que además satisfaga la oferta laboral en ese campo, genera a largo plazo un aumento de las aspiraciones personales de aquellos jóvenes que quieran estudiar una carrera poco prestigiosa.

Se puede inferir que las acciones del Estado en cuanto a la ampliación de cobertura no se puede considerar una solución a la problemática de la baja demanda de jóvenes que quieren estudiar una carrera si no se aborda el mercado laboral, como impulsar la oferta de empleo para satisfacer la demanda de graduados. Incluso si el Estado centra sus políticas de cobertura en carreras de poco prestigio, se consideraría como una solución no viable, en términos económicos, debido a que la población estudiantil universitaria para estas carreras siempre va a estar en aumento, independientemente del poco prestigio que posea, y además que, de acuerdo a los resultados de la simulación, la diferencia entre la cantidad de estudiantes universitarios con o sin intervención de las políticas del Estado no son realmente significativas.

8. AUTORES

ARISTIDES CABANA G., estudiante del Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad del Magdalena, Integrante del Grupo de Investigación GIAO.

HENRY D. FABRA, estudiante del Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad del Magdalena, Integrante del Grupo de Investigación GIAO.

JANER D. PONTONES, estudiante del Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad del Magdalena, Integrante del Grupo de Investigación GIAO.

JUAN J. SIERRA, estudiante del Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad del Magdalena, Integrante del Grupo de Investigación GIAO.

SAMUEL PRIETO M., magíster en Informática, Universidad Industrial de Santander, Ingeniero de Sistemas, Universidad Industrial de Santander (UIS), Docente tiempo completo Programa de Ingeniería de Sistemas Universidad del Magdalena, Santa Marta, director del Grupo de Investigación GIAO.

9. REFERENCIAS

[1] QUIGLEY, M. and DANGERFIELD, B. “The Economics of Education: is it Profitable to be Ignorant?” Proceeding of 27th International Conference of the System Dynamics Society. pp. 1-13.

[2] QUIGLEY, M. “SPARC 2006 Papers”, Proceedings of the Salford Postgraduate Annual Research Conference, 11-12 May 2006, pp. 127-141.

[3] DANGERFIELD, B. “Towards a Transition to a Knowledge Economy: How System Dynamics is Helping Sarawak Plan Its Economic & Social Evolution” Proceeding of 24th International Conference of the System Dynamics Society. pp. 1-20.

[4] STERMAN, J. D. “Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World”, McGraw-Hill College, 2006.

[5] Informe nacional sobre el desarrollo de la educación en Colombia. Capítulo 1 Inciso 1, Available: <http://www.ibe.unesco.org/International/ICE/natrap/Colombia.pdf> [citado 27 de Mayo de 2010].

[6] Informe nacional sobre el desarrollo de la educación en Colombia. Capítulo 1 Inciso 1 Parte B, Available: <http://www.ibe.unesco.org/International/ICE/natrap/Colombia.pdf> [citado 27 de Mayo de 2010].

[7] ARACIL, Javier y GORDILLO, Francisco “Dinámica de Sistemas”, Alianza Editorial, S.A., Madrid, 1997.

[8] Estadísticas Graduados Colombia, Available: <http://www.graduadoscolombia.edu.co/html/> [citado 26 de Mayo de 2010].

[9] VÉLEZ, C. M. “La Revolución Educativa” Procedente de la Presentación de la Ministra de

Educación Nacional, ANDI, Cartagena, Bolívar, Agosto 23 de 2002, pp. 1-2.

[10] Sistema Nacional de Información de la Educación Superior, SNIES, Available:<http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/article-12400.html> [citado 24 de Octubre de 2010].

[11] Las 10 profesiones mejor remuneradas en Colombia, Available: http://noticias.eempleo.com/colombia/investigacion_laboral/las-10-profesionesmejorremuneradas-en-colombia-7802026, [citado el 01 de Noviembre de 2010].

Dinámica de Sistemas, argumentación y representación del conocimiento como apoyo en clubes de matemáticas

Math Clubs Supported by System Dynamics, Knowledge Representation and Argumentation,

Eliécer Pineda B., MSc., Freddy R. Téllez A., MSc., y Diana P. Landazábal C., MSc.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
eliecer.pineda@unad.edu.co, freddy.tellez@unad.edu.co, diana.landazabal@unad.edu.co

Resumen: Este artículo presenta una propuesta de investigación que retoma resultados previos acerca del uso de ambientes informáticos para la representación del conocimiento y propone estrategias para su incorporación alrededor de la noción de club de estudio.

Según algunos autores, los miembros de un club matemático trabajan diversos aspectos de esta ciencia, descubren nuevas aplicaciones, establecen un diálogo que permite explorar diversos puntos de vista y comparten elementos culturales diferentes mientras resuelven problemas.

La propuesta se apoya en planteamientos teóricos sobre la resolución de problemas, la representación ontológica, la discusión argumentada y el modelado estructural dinámico sistémico y se apoyará en el uso de ambientes informáticos que promueven tales teorías.

Palabras Clave: clubes de matemáticas, argumentación, modelación, simulación, representación del conocimiento.

Abstract: This paper presents a research proposal which incorporates previous findings about the use of computer environments for knowledge representation and proposes some strategies for incorporation of the concept of club study.

According to some authors the students involved in various aspects of club work in mathematics, find new applications, establish a dialogue to explore different points of view and share different cultural elements as they solve problems.

This proposal is based on theoretical approaches to problem solving, the ontological representation, reasoned discussion and the systemic dynamic

structural modeling. It will build on the use of computer environments to develop such theories.

Keywords: math club, reasoning, modeling, simulation, knowledge representation.

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo tiene como propósito presentar los referentes teóricos relacionados con la discusión argumentada, la representación del conocimiento y el modelamiento estructural y las estrategias que se utilizarán para diseñar e implementar una propuesta que incluya estas tres dimensiones en la conformación de clubes matemáticos, buscando desarrollar competencias en la resolución de problemas en una población de estudiantes de décimo y undécimo grado de la secundaria.

Para alcanzar este propósito se propone una serie de tareas como: *diseñar* un prototipo inicial de club de matemáticas incluyendo la argumentación, la representación del conocimiento y el modelamiento dinámico sistémico; *implementar* el club en una población de estudiantes de décimo y undécimo de la secundaria y *evaluar* los resultados del club para posteriormente *reconstruir* la propuesta de club.

Se espera que, con el trabajo en el club de estudio, se desarrollen las competencias cognitivas básicas a partir del uso de las herramientas software propuestas, de la siguiente manera: las competencias interpretativas se desarrollarán a partir del uso de SIMAS, software que permite hacer representaciones ontológicas, (en la medida en que los estudiantes al hacer ontologías ganan en la comprensión de los

fenómenos estudiados); las competencias argumentativas se potenciarán con el uso de DIGALO, software que posibilita la argumentación mediada y moderada en ambientes de aprendizaje colaborativo; finalmente las competencias propositivas serán logradas a partir del uso del ambiente de modelado FreeStyler, el cual facilita el modelado y simulación de forma colaborativa, permitiendo que se parta del conocimiento de las variables del sistema, de la estructura de éste y se diseñen políticas de intervención.

2. DESARROLLO DEL CONTENIDO

2.2 ANTECEDENTES

El más cercano de los antecedentes se encuentra en un proyecto denominado: “SIMAS Y COOL MODES en el desarrollo de competencias básicas: una experiencia de formación de comunidad de aprendizaje mediada tecnológicamente”. Éste se constituyó como proyecto de investigación y fue desarrollado por varios grupos, que orientaron el trabajo de docentes y estudiantes de educación media, con miras a observar la evolución en la conformación de una comunidad de aprendizaje.

En el proceso se involucraron estudiantes de grado once (11) de 3 colegios, 2 de ellos ubicados en el departamento de Cundinamarca y uno más en el departamento de Santander.

El proyecto se guió por dos preguntas generales:
¿Cuál es el efecto de incorporar los escenarios SIMAS y COOL MODES en el desarrollo de competencias básicas en matemáticas, ciencias naturales, lenguaje y vida ciudadana, medidas a través de evaluación de logros y pruebas estandarizadas?

¿Cuál es el efecto de un modelo dinámico de comunicación, apoyado por el Portal Colombia Aprende, en la consolidación de una comunidad de aprendizaje visualizada a través de la evolución en negociación de metas y estrategias pedagógicas, frecuencia y eficacia de la comunicación y permanencia de los participantes?

La manera en que se buscaba dar respuesta a dichas preguntas partió del hecho de suponer que los procesos de formación de competencias cognitivas se potencian mediante la introducción de ambientes digitales que permitan a los aprendices una maduración plena de su curva de aprendizaje.

En palabras de [1], en la investigación se concluyó que era de gran importancia para el impulso de innovaciones educativas, la construcción de redes de trabajo colaborativo entre docentes, pues éstas permiten la proyección del trabajo realizado a diferentes contextos, haciendo visibles los resultados obtenidos y mejorando las prácticas docentes.

Otro proyecto que antecede esta propuesta fue “Conformación de una comunidad de aprendizaje con el apoyo del ambiente digital Dígalo”. Este proyecto se realizó en conjunto con investigadores de Israel. Participaron la Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD– de Colombia y el grupo HUJI de la Universidad Hebrea de Jerusalén, y se buscaba desarrollar el aprendizaje de competencias argumentativas y el fomento de la resiliencia en un grupo de estudiantes que estaban en un proceso de reincorporación a la vida civil.

Según [2], el efecto del uso del software DIGALO es múltiple: por una parte, fue una condición favorable al desarrollo de competencias para usar el computador; por otra, favoreció el aprendizaje de las asignaturas; en tercer lugar, permitió el desarrollo de habilidades en las sesiones colaborativas con participación; cuarto, se manifiesta una tendencia al incremento de la metacognición y quinto, hubo despliegue de patrones de liderazgo en el escenario académico. Así mismo, vale indicar que el sistema de argumentación tiene un efecto sobre la regulación de los ritmos de aprendizaje, en la medida en que la participación puede ser entendida como un proceso argumentativo, en donde cada miembro integra sus aportes al grupo sin perder su identidad, generando un ritmo de procesamiento de información ajustado al de sus miembros; en consecuencia, cada uno de los participantes tiene condiciones favorables para su aprendizaje, situación que en una clase expositiva es más difícil de regular.

2.3 CLUBES DE MATEMÁTICAS

Muy posiblemente el primer grupo de personas que dedicó algún espacio al quehacer matemático, en un ámbito social, fueron los Pitagóricos aunque sus objetivos estaban más encaminados hacia lo religioso y político.

De acuerdo con [3], durante la Edad Media los conocimientos matemáticos de los griegos quedaron prácticamente olvidados en Europa, mientras que los hindúes y los árabes desarrollaron su estudio y promovieron notables progresos en Aritmética y Álgebra. En Italia, durante el renacimiento, se experimentó un gran impulso del álgebra elemental

durante los siglos XV y XVI. Posteriormente Descartes, en el siglo XVII, hizo uso de ella para la resolución de problemas de geometría, también creó el sistema de coordenadas cartesianas y dio origen a la geometría analítica. Sobre esta base, Newton y Leibniz desarrollaron el cálculo infinitesimal, y Neper elaboró el cálculo logarítmico.

Durante los siglos XIX y XX, el progreso matemático recibió un nuevo impulso, gracias a las aportaciones de Mobius en geometría, a la obra de Poincare en análisis, a los estudios de Cantor sobre teoría de conjuntos, a la labor de Bertrand Russell en lógica matemática y a los esfuerzos de muchos otros científicos.

En los albores del siglo XXI aparecen algunos Clubes de Matemáticas destinados a la resolución de problemas, pero aún su difusión es mínima y generalmente sólo muestran los objetivos que se pretenden alcanzar, pero no ofrecen mayor información sobre su organización y funcionamiento.

Un ejemplo de club de matemáticas lo refiere [4], quien describe su experiencia con el Club de Matemáticas del Colegio Departamental “*El Triunfo*”, indicando que éste está conformado “por sesenta estudiantes que cursan los grados séptimo a noveno de la básica secundaria o décimo y once de la media vocacional y cuyas edades oscilan entre los 12 y los 18 años”. Seguidamente se indica, por la autora citada, que el club es un grupo abierto para todos los estudiantes del colegio que deseen participar en él, sin importar cuál es su desempeño en el área, puesto que el propósito del club es “hacer que los estudiantes le encuentren algún encanto y una aplicación a la asignatura dentro del nivel académico al cual pertenecen y que adquieran algunas habilidades sociales”. Seguidamente [4] indica que con los estudiantes se realizan reuniones un día a la semana y en ese espacio se dedican “al análisis de diferentes artículos con temas de la matemática de secundaria.” Finalmente, como resultado de la labor en el club los estudiantes han adquirido destreza para comunicarse ante un grupo y una buena creatividad para inventar algunos juegos y acertijos.

En [5] se propone que el Club de Matemáticas debe ser un espacio que además de estar fuera del aula, propenda por generar en el alumno una actitud de aceptación de la Matemática, es decir, que se logre despertar en él el interés por ella. Con respecto de las actividades realizadas en el club, [5] propone que puede partirse de actividades como el juego, la resolución de acertijos, de paradojas o de rompecabezas, esto es, de actividades que

presuponen un reto al intelecto, centrándose la atención en comprender el problema mediante la actitud reflexiva. En otros casos se intenta dar un seguimiento a aquellos alumnos que muestran interés y disposición por profundizar en el mundo de la Matemática más allá de lo aprendido en el salón de clase.

Finalmente, puede indicarse que un club de matemáticas será un espacio para acercarse a la matemática desde perspectivas que habitualmente no están presentes en la práctica escolar, entre ellas el experimental, el estético, el recreativo y el cultural, y que su principal objetivo consiste en ofrecer una oportunidad de enriquecimiento a un grupo de estudiantes que son capaces de dedicar parte de su tiempo libre a trabajar esta materia, estimulados por la presencia de otros compañeros y por una o varias personas expertas que lo coordinan. Es importante señalar aquí que en los clubes la figura del profesor, casi siempre asociada a la figura del poder en el aula, debe desaparecer para convertirse en un miembro más del club, en alguien que colabora en la resolución de problemas y no puesto en el clásico papel del que enseña.

Teniendo en cuenta la anterior definición de club, esta propuesta intenta incluir, en él, las TI representadas en diversos software que potencien las competencias interpretativas, argumentativas y propositivas, a partir de la representación del conocimiento para promover la explicitación de ontologías comunes, las discusiones argumentan que potencian la discusión sobre la base de las ontologías compartidas y el modelado estructural como posibilidad de experimentar soluciones simuladas, todo ello como aporte para la resolución de problemas, siguiendo para tal fin los planteamientos teóricos de [6]. A continuación se hace una presentación de cada uno de los software propuestos y las estrategias dentro de las cuales éstos adquieren sentido.

2.2 REPRESENTACIÓN ONTOLÓGICA

SIMAS, software desarrollado por la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia bajo la dirección del Dr. Luis Facundo Maldonado, permite la construcción de ontologías apoyadas con hipertextos. El sinónimo más usual de ontología es el de conceptualización. Según la definición de [7], una ontología constituye “*a formal, Explicit specification of a shared conceptualization*”. En esta definición conceptualización se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno del mundo del que se identifican los conceptos que son relevantes; explícito hace

referencia a la necesidad de especificar de forma consciente los distintos conceptos que conforman una ontología; formal indica que la especificación debe representarse por medio de un lenguaje de representación formalizado y compartido: De acuerdo con lo anterior, una ontología debe, en el menor de los casos, dar cuenta de conocimiento aceptado, como mínimo, por el grupo de personas que deben usarla.

De otra parte se sabe que la comprensión de los fundamentos del aprendizaje autónomo a través de la lógica formulada por [8] muestra consistentemente que el ser humano procesa bloques estructurados de información. En este sentido, en [9] se documenta una investigación que se orientó, primero, a generar una ontología que sirviera de base para la representación de conocimiento en geografía a través de redes semánticas estructuradas y en segundo lugar, contrastaron los efectos de dos formas de software, SIMAS y un Agente Generador de preguntas, sobre la comprensión y profundidad de una estructura conceptual en estudiantes de educación básica. En esta investigación se concluyó que si bien, en el aprendizaje no hay diferencias significativas, quienes usaron SIMAS transfirieron más categorías de la fuente de información a su propia representación. Este hecho naturalmente los habilita para realizar descripciones, asociadas a un fenómeno, con un mayor grado de comprensión del mismo.

En atención a lo anterior es posible afirmar que la organización de sistemas conceptuales constituye uno de los núcleos de interés más importantes de la educación contemporánea. En [9] se encontró que el dominio de sistemas ontológicos por parte de estudiantes se relacionaba de manera significativa con la capacidad de aplicar estrategias para resolver problemas de descubrimiento, lo cual hace pensar en la relación existente entre la formación de sistemas conceptuales y capacidad creativa. Este descubrimiento es lo que hace especialmente pertinente utilizar la representación ontológica, dentro de la idea de club, en la medida en que, con su uso, se gana en habilidades creativas, interpretativas y de resolución de problemas.

El papel que cumplirá SIMAS en el club ha de ser el de facilitar la representación del conocimiento, mediante una ontología, asociado al problema que se intenta resolver. Dicha representación será el primer paso en el proceso de solución del problema. Por ejemplo, si el problema fuera dar cuenta o explicar la evolución dinámica de una población, una posible representación podría ser la que se ve en la siguiente figura.

La ontología, de la figura 1, tiene una primera parte (izquierda) en la cual se establecen relaciones entre cada una de las variables. En ella se busca identificar claramente las relaciones entre las variables estableciendo a qué categoría pertenecen, es decir, identificando si se trata de una relación ordinal (primero, segundo), de herencia (padre, hijo), o sistémica (sistema, súper-sistema, subsistema), el hecho de pertenecer a una de estas categorías define su clase (Jerárquica, Sistémica o Causal).

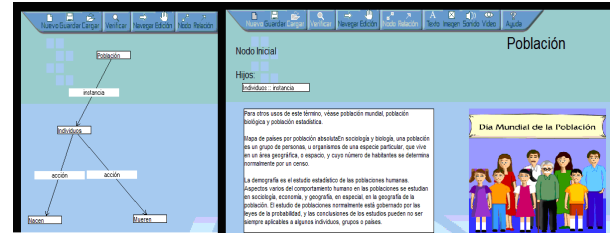


Figura 1. Ontología

La segunda parte de la gráfica muestra el despliegue de la variable población, en la que se muestran elementos hipermediales que contribuyen para dar una mayor descripción. La idea es que cada variable tenga asociado un bloque de información que ha de contribuir en un mejor entendimiento del papel y el significado que ésta cumple dentro del fenómeno estudiado.

2.4 DISCUSIONES ARGUMENTADAS

DIGALO, Software desarrollado por el grupo Kishurim de la universidad Hebrea de Jerusalén, es un ambiente informático orientado a la utilización de la argumentación en la solución colaborativa de problemas. Según [10], el software puede ser usado siguiendo una metodología de análisis de casos, buscando que los estudiantes aprendan a usar su lenguaje, resolviendo los casos y generando competencias cognitivas y argumentativas.

El uso eficiente de DIGALO, como plataforma de discusión, puede llevarse a cabo cuando el moderador ha hecho un trabajo previo, este trabajo deberá enfocarse en el diseño de un ambiente de estudio inspirador de confianza, en el que se otorgue a todos y cada uno de los participantes el derecho de expresar sus opiniones, incluyendo el derecho de emitir una crítica a lo expresado por sus compañeros. Para lograr un ambiente así, el moderador ha de adquirir la capacidad de guiar la discusión, orientándola y promoviendo la participación de todos los estudiantes.

En la figura 2 se observa el trabajo que podría ser realizado sobre la base de intentar resolver la situación problema planteada anteriormente, usando DIGALO. El caso con el cual se ha comenzado en la sección de Ontologías podría pasar a una segunda etapa en la cual los estudiantes discutirían sobre la forma en que las variables se relacionan y por consiguiente lograrían establecer la estructura responsable del comportamiento del sistema. Así mismo la discusión argumentada podría ser usada para determinar qué variables son razones de cambio (rates) y cuáles variables son acumulaciones (levels) y cuáles son funciones (fuctions).

La figura 2 permite observar la manera en que diferentes participantes (Juan, María y Eliécer) contribuyen en la construcción argumentada del diagrama de influencias (izquierda) y además discuten cuál de cada una de esas variables resulta siendo o un flujo (rates) o un nivel (stock) visible esto en la parte derecha de la figura.

La parte izquierda de la figura muestra un diagrama de influencias el cual viene siendo el resultado, primero de conocer el fenómeno, que para este caso se obtiene mediante la representación ontológica, y segundo, de la discusión argumentada del grupo de estudiantes alrededor de cuál ha de ser la manera en que las variables se interrelacionan, es decir, determinar la ontología compartida.

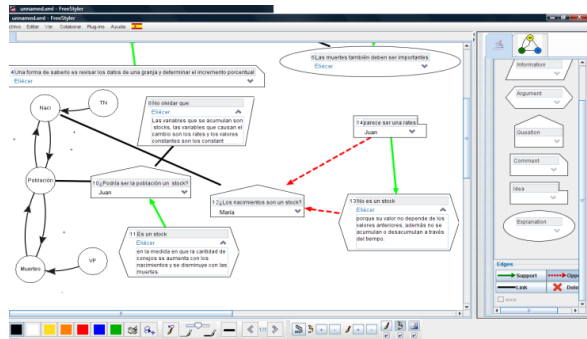


Figura 2. Discusión Argumentada

Otra dimensión importante del trabajo a realizar por los estudiantes consiste en identificar cuando una variable resulta siendo una acumulación o una razón de cambio, este hecho garantiza que ellos puedan argumentar las razones por las cuales los comportamientos observados son resultado de la dinámica asociada a la estructura del fenómeno.

2.5 MODELADO COLABORATIVO

FreeStyler es una plataforma que permite trabajar diferentes formas de modelado colaborativo y entre

esas formas de modelado está la Dinámica de Sistemas; este software fue desarrollado por el grupo Collide de la Universidad Duisburg-Essen.

La Dinámica de Sistemas, como es conocida, fue creada en los años cincuenta por el profesor Jay W. Forrester [11], pudiéndose concebir como una unidad paradigma-lenguaje, con la cual a medida que se representa un fenómeno se va adquiriendo mayor destreza para identificar los elementos, las relaciones y los bucles de realimentación (propios del paradigma sistémico). Los modelos construidos con Dinámica de Sistemas utilizan cinco lenguajes de formalización, ellos son: el lenguaje de prosa, el lenguaje de los diagramas de influencias, el lenguaje de los diagramas de flujos y niveles, el lenguaje matemático y el lenguaje de los resultados simulados o del comportamiento [12]. Cada uno de ellos aporta para la comprensión y comunicación, satisfaciendo de manera particular los requerimientos de un modelo dinámico-sistémico, esto es, la posibilidad de expresar hipótesis causales de la dinámica y la posibilidad de realizar con ellas una interacción simulada.

Para el modelado, la parte final del proceso de solución del problema, se usará el *plug in system dynamics*. En lo que se refiere al modelado, en FreeStyler se acepta de manera implícita la idea básica que ha sido acuñada en la comunidad de Dinámica de Sistemas por [13] y que propone como la principal fuente de información los modelos mentales del modelador atribuyéndole un menor peso a los datos numéricos; además esta idea de modelado se apoya en la metáfora del sistema realimentado, la idea de causalidad circular y la consideración fundamental de que la causa y el efecto no siempre están cercanas en el tiempo.

El aporte identificable de FreeStyler a la Dinámica de Sistemas consiste en la posibilidad de usar diferentes lenguajes de representación en el mismo espacio de trabajo, permitiendo además el trabajo de modelación y simulación colaborativo, posibilitado por la “sincronización de ambientes potencialmente autónomos”.

Continuando con el ejemplo de la población y para terminar la descripción de la manera en que se resolvería el problema en el club, se pasa a la implementación del modelo, su calibración, diseño de escenarios de simulación y la propuesta de políticas de intervención.

Una vez se construye la ontología que representa la situación problema y se determina el tipo de variables

mediante la discusión argumentada, se procede a montar el modelo, ejecutarlo, probarlo y modificarlo si es del caso.

Al tener el modelo, éste puede ser usado para realizar experimentos, discutirlos y volver sobre el modelo, hasta que a juicio del modelador, el modelo ya represente satisfactoriamente lo modelado.

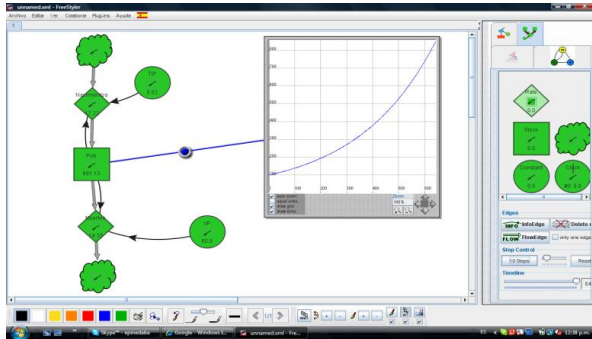


Figura 3. Modelo de una población

La figura 3 permite apreciar el modelo que representa una población y del cual se puede obtener una buena aproximación a la dinámica poblacional, que como es sabido, se corresponde con un comportamiento exponencial.

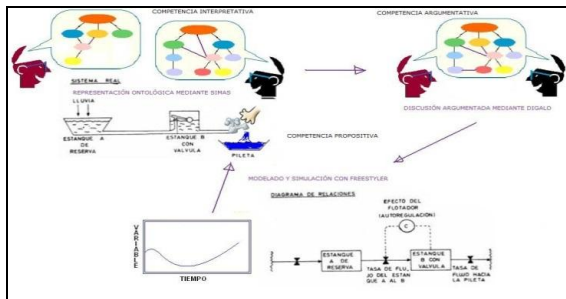


Figura 4. Representación del proceso propuesto

En esta parte resulta conveniente resaltar que al tener el modelo construido (preferiblemente creado por los estudiantes) se debe diseñar una serie de preguntas orientadoras que guíe a los estudiantes en el proceso de obtener finalmente la solución al problema planteado. La persona que oficie como asesora del club deberá diseñar una serie de escenarios de simulación que le permitan al estudiante comprobar por un lado sus modelos mentales y por otro que les permita, una vez entiendan la dinámica compleja del fenómeno, proponer intervenciones en el modelo para llegar a los resultados deseados, es decir, aquellos que coinciden con el problema planteado. Por ejemplo, si el problema planteado fuera determinar en cuánto tiempo se duplica una población dada, es posible que el estudiante se dé cuenta que este tiempo

variará dependiendo de los escenarios de simulación experimentados, esto es, de las condiciones iniciales y los valores de los parámetros.

3. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Las experiencias previas muestran que los estudiantes se sienten atraídos por las posibilidades de representación que ofrecen los software, pues encuentran, entre otras cosas, que la estructura conformada por las variables, puede ser utilizada para explicar el comportamiento de los fenómenos, mediante las reiteradas experiencias de experimentación virtual.

Las fortalezas que exhiben los software propuestos para el club, están representadas en la potencia que poseen para la representación del conocimiento, muy a la manera de la forma en que el cerebro almacena y procesa la información, según Minsky.

Tanto la competencia interpretativa, como la argumentativa y la propositiva, se pueden desarrollar mediante el proceso de modelado. Cuando se usa SIMAS para hacer ontologías, se están promoviendo las competencias interpretativas; al usar DIGALO para guiar las discusiones argumentadas, se promueve la competencia argumentativa; al modelar, simular y probar escenarios de simulación con el ambiente FreeStyler, se va en procura de desarrollar la competencia propositiva, pues al tener escenarios de simulación, éstos contribuyen para que los estudiantes propongan diseños de políticas de intervención.

Finalmente hay que indicar que el aprendizaje de las matemáticas resulta siendo necesario para el desempeño satisfactorio en la mayoría de las tareas a que se verá enfrentado posteriormente el estudiante y lo que finalmente aporta el club es el ofrecimiento de un espacio que atraiga al estudiante y que le permita olvidar los referentes que desde los inicios de su formación le hacen ver la matemática, antes que con agrado, la mayor de la veces, con miedo.

4. REFERENCIAS

[1] L. F. MALDONADO, et al. “Comunidades de aprendizaje mediadas por redes informáticas.” En: Revista Educación y Educadores, Vol. 11, No 1 - Julio De 2008. pp. 199-224.

[2] L. F. MALDONADO, et al. Dígallo: Argumentación en ambientes digitales de educación: una experiencia con reintegrados a la vida civil. Primera Edición, Ediciones Hispanoamericanas Ltda.

Diagramación e impresión Bogotá, agosto de 2008. Disponible en: http://www.unad.edu.co/revista_investigacion/images/digaloes/DIGALO.pdf. [Citado 11 de Junio de 2010].

[3] G. JOHNSON, et al. Explorando la Matemática Tomo I: conjuntos, enunciados y operaciones. Invitación a conocer la matemática. Comprendiendo los sistemas de numeración. Editorial: Paz, 2000.

[4] A. JIMÉNEZ, "Álgebra en todas partes. Institución educativa: Colegio Departamental El Triunfo", Biblioteca Luis Ángel Arango, del Banco de la República. "Humboldt 200 años", Publicación digital en la página web de la Biblioteca Luis Ángel Arango del Banco de la República, disponible on line en <http://www.lablaa.org/blaavirtual/apoyo/fondo/algebra.htm>, [citado mayo 13 de 2010]

[5] H. GARCÍA, "Club de Matemáticas del CCH Naucalpan." disponible on line en: <http://valle.fciencias.unam.mx/intermat/hector/introducciongeom.pdf>. [Citado el 13 de mayo de 2010]

[6] G. POLYA, Cómo plantear y resolver problemas, Editorial Trillas, México, 2002.

[7] T. R. GRUBER, A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Knowledge Acquisition, 6(2):199--221, 1993.

[8] M. MINSKY, The Society of Mind, New York: Simon & Shuster, 1985.

[9] L. F. MALDONADO, et al. Ontología y aprendizaje de la geografía: software para representar y software para comprender. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional y Colciencias. 2001.

[10] R. DE GROOT, et al. "Dígalos y Procesos de argumentación, conformación de comunidades de aprendizaje y emergencia de factores de resiliencia y transferencia a la vida cotidiana". En: Revista de

investigaciones UNAD, julio 2008, Volumen 7, Número 1.

[11] J. W. FORRESTER, The Beginning of System Dynamics. Banquet Talk at the international meeting of the System Dynamics Society, Stuttgart, Germany, July 13, 1989

[12] E. PINEDA, Un reconocer a nivel práctico de las diferencias y coincidencias de los enfoques de modelado conductista y estructural en la economía. [Tesis de grado en Economía] Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2005.

[13] J. ARACIL, Máquinas, sistemas y modelos. Madrid: Editorial Tecnos, 1986.

5. CURRÍCULUM

Eliécer Pineda: Ingeniero de Sistemas, Universidad Industrial de Santander, 2000, Economista, Universidad Industrial de Santander, 2005. Especialista en Docencia Universitaria, 2007. Magíster en Informática, 2007. Docente e investigador, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Grupo de investigación: Guane.

Freddy Téllez: Ingeniero Electricista, Universidad Industrial de Santander, 1998. Magíster en Potencia Eléctrica, Universidad Industrial de Santander, 2004. Docente e Investigador, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Grupo de Investigación: Guane.

Diana Landazábal: Psicóloga Universidad Nacional, 2002. Magistra en Educación, Pontificia Universidad Javeriana, 2006. Docente e Investigadora, Escuela de Ciencias de la Educación. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Grupo de Investigación Gestión Vital.

Calificaciones, dinámica del estudiante

Grades, student's dynamics

Diego Fernando Soto F., Christian Felipe Correa S. y Fabio Andrés Parra T.
Universidad Icesi, Cali

diego.soto@correo.icesi.edu.co, cfcorre@gmail.co, favio.parra@correo.icesi.edu.co

Resumen: Grades, Student's Dynamics es una herramienta que permite, mediante el uso de Dinámica de Sistemas, simular cómo un estudiante universitario debe distribuir su tiempo para lograr un buen desempeño académico durante el semestre. El modelo ilustra cómo las actividades cotidianas ajenas al estudio afectan el desempeño académico del estudiante si no se logra un equilibrio entre el tiempo que éste dedica a cumplir sus deberes académicos y el tiempo que dedica a otras actividades de su agrado. Consideramos que si excede el tiempo que debe dedicar a otras actividades su nivel de energía disminuirá, afectando su productividad, calidad de trabajos y por consiguiente, las notas reales serán distantes de las notas deseadas.

Palabras Clave: dinámica, estudiante, desempeño académico, productividad, salud, notas.

Abstract: Grades, Student's Dynamics is a System Dynamics tool that simulates how a college student should distribute his time to get a high academic performance during the semester. The model illustrates how everyday activities affect the study outside the student's academic performance if he doesn't have a balance between the time he dedicated to develop his academic duties and the time spent on other activities that he enjoys. We believe that if the student exceeds the time to make non academic activities his energy level will decrease; affecting his productivity, quality of works and therefore the real notes will be far from the desired notes.

Key words: Dynamic, student, academic performance, productivity, health, grades.

1. INTRODUCCIÓN

Grades, Student's Dynamics modela el comportamiento del estudiante universitario y estudia la manera adecuada cómo este debe distribuir su tiempo entre actividades académicas,

extracurriculares, deportivas, sociales, entre otras para lograr un buen desempeño académico, lo cual se ve reflejado en las calificaciones obtenidas al final del semestre. El modelo da especial importancia al tiempo de descanso que debe tener el estudiante para mantener un nivel de energía alto que lo haga productivo y le permita desarrollar con éxito sus actividades académicas durante el semestre.

El modelo es una herramienta flexible que permite realizar la simulación con diferentes parámetros de entrada; es decir, permite modificar los valores de los tiempos que el estudiante objeto del estudio dedica a cada actividad; esto hace posible realizar la simulación para un estudiante responsable, dedicado a su estudio y consciente que debe tener un tiempo de descanso adecuado para lograr un buen desempeño académico, así como para un estudiante un poco descuidado con sus deberes académicos que prefiere dedicar su tiempo a actividades ajenas a la universidad. El modelo permite comparar los resultados obtenidos por el estudiante en varios escenarios propuestos, determinando así cuál se ajusta más a sus intereses académicos y personales, entendiéndose esto como el equilibrio de tiempo que éste debe tener entre las actividades que realiza, académicas o no para obtener los resultados deseados.

Grades, Student's Dynamics se constituye como un aporte importante en Dinámica de Sistemas porque proporciona una herramienta práctica y flexible para los estudiantes universitarios que desean planear su tiempo para cumplir sus metas académicas y lograr buenos resultados al finalizar el semestre; además permite a padres de familia ejercer un control efectivo sobre el tiempo libre de sus hijos universitarios para orientarlos hacia un estilo de vida que los lleve a lograr un buen desempeño académico, obteniendo reconocimiento y altas calificaciones. Universidades, psicólogos y consultores también se pueden beneficiar con el aporte de este modelo porque permite orientar jóvenes en proceso de

formación hacia hábitos saludables de estudio que les permitan obtener buenos resultados.

Este modelo nace como respuesta a la inquietud de los autores de cómo se debe distribuir el tiempo de manera adecuada para lograr un buen desempeño académico que permita obtener buenas calificaciones durante el semestre sin dejar de lado actividades ajenas a lo académico que brindan satisfacción personal a cada individuo. Igualmente, responde a las preguntas de investigación referentes a la importancia de establecer métodos que permitan identificar hábitos de estudio saludables aplicados en escenarios reales que faciliten la planeación del semestre académico para estudiantes universitarios que deseen ajustar sus actividades de manera que puedan lograr una meta personal fijada para el semestre, la cual se debe reflejar en un valor numérico esperado para sus calificaciones.

En Dinámica de Sistemas se han realizado estudios respecto de los factores que afectan el desempeño de los trabajadores en la industria [1] y la disminución del rendimiento en el nivel de servicio de las organizaciones [2] que hace que se erosionen las metas propuestas y se recurra de manera desesperada a métodos inadecuados e ineficaces para intentar lograr algunos objetivos propuestos; no obstante se ha estudiado muy poco en Dinámica de Sistemas como estos factores de cansancio causados por la carga académica y la pérdida de energía en actividades de libre esparcimiento y diversión, el estrés, enfermedades, entre otros factores afectan el desempeño académico de estudiantes universitarios y cómo se debe ajustar el tiempo y las actividades por realizar para lograr un equilibrio que permita mantener un buen nivel de energía, así su productividad será alta y podrá realizar trabajos académicos de calidad, lograr un buen desempeño en la universidad y obtener las calificaciones deseadas al inicio del semestre.

La carga académica propia de una carrera universitaria hace que los estudiantes de pregrado que no están acostumbrados a manejar estos niveles de ansiedad y estrés se refugien en actividades diferentes a las académicas como vía de escape de los deberes académicos; con el tiempo y sin ser consciente de ello las actividades académicas van pasando a un segundo plano y por fatiga o falta de tiempo se disminuye la calidad de los trabajos y las notas reales se hacen cada vez más distantes de las notas deseadas (erosión de metas); Grades, Student's Dynamics facilita la planeación y contribuye a la formación de

una disciplina que permita adquirir hábitos de estudio adecuados para alcanzar las metas propuestas.

Grades, Student's Dynamics debe ser visto como un aporte de Dinámica de Sistemas al sector de la educación y un punto de partida para futuros estudios académicos y sociales respecto de la manera como los jóvenes universitarios distribuyen su tiempo y cómo está afectando la calidad de su formación profesional, determinar niveles de carga académica adecuada, factores de deserción universitaria, entre otros.

2. MODELO

Grades, Student's Dynamics modela el comportamiento de las notas del estudiante universitario durante un semestre académico e ilustra cómo las actividades cotidianas ajenas al estudio afectan su estado físico y mental, lo cual se refleja en su desempeño académico, la calidad de los trabajos que realiza y las calificaciones obtenidas.

Grades, Student's Dynamics es una herramienta flexible que permite a los estudiantes planear su tiempo de descanso y esparcimiento de tal manera que no afecte su tiempo de estudio para lograr así un buen desempeño académico. La persona que desee simular el comportamiento de sus notas durante el semestre es libre de establecer los parámetros iniciales de tiempo que desea dedicar a cada actividad, lo cual permite saber si es conveniente o no la manera como planea distribuir su tiempo para sus intereses académicos.

La Figura 1 presenta la estructura del modelo Grades, Student's Dynamics elaborado en Vensim PLE.

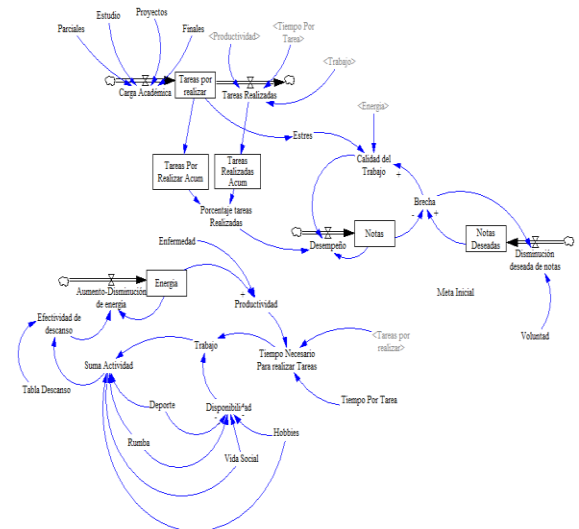


Figura 1. Grades, Student's Dynamics

Se realizó la simulación para un estudiante responsable y dedicado a sus actividades académicas, así como para un estudiante que antepone sus actividades sociales y deportivas a sus deberes; los resultados nos permiten comparar cómo un buen descanso permite mantener un alto nivel de energía, el cual se refleja en la productividad y por consiguiente, en los resultados obtenidos.

Para realizar el modelo se utilizó el programa Vensim PLE, las unidades de tiempo utilizadas son semanas y el tiempo de simulación es de un semestre académico (18 semanas); este tiempo considera 16 semanas de clase y 2 semanas de exámenes finales y entregas de proyectos al final del semestre.

La carga académica se ha definido como la suma del estudio, exámenes parciales, exámenes finales y proyectos. El estudio se definió como un valor aleatorio que no presenta mayor variabilidad durante el semestre, los exámenes parciales afectan el modelo alrededor de las semanas 6 y 12 de simulación, los proyectos alrededor de las semanas 8 y 16, mientras que los exámenes finales en las últimas dos semanas de simulación.

El tiempo que el estudiante dedica a actividades no académicas es tiempo que podría ser dedicado al estudio. El modelo considera el tiempo que el estudiante se dedica al deporte, la rumba, la vida social (familia y amigos) y a sus hobbies. La carga académica se ve reflejada en actividades por realizar, para las cuales se ha establecido un tiempo promedio de una hora por actividad. El estudiante requiere un tiempo para su descanso, éste le permite mantener un buen nivel de energía y así su productividad le posibilitará cumplir con éxito sus actividades académicas. El tiempo disponible del estudiante es el tiempo en que éste debe decidir qué actividades realizará; entre más tiempo dedique a realizar actividades no académicas el tiempo disponible para realizar sus tareas será menor y, en caso que el tiempo disponible para realizar tareas sea menor que el tiempo requerido para realizar las tareas acumuladas le será imposible cumplir a cabalidad con las mismas, esto se ve reflejado en su desempeño académico, el cual va a disminuir y por consiguiente sus notas no van a ser las mejores. Al sentir que es incapaz de cumplir con sus tareas el estudiante se va a estresar, su productividad bajará y su desempeño también.

El modelo considera como meta inicial del estudiante un promedio de 4,0 al finalizar el semestre, no obstante si no distribuye su tiempo de tal manera que pueda lograrlo, éste va a disminuir su meta. La

brecha entre el estado real y el deseado permite evidenciar un comportamiento de acuerdo al arquetipo sistémico erosión de metas.

2.1 Unidades y Tiempo de Simulación

Las unidades de tiempo utilizadas en el modelo son horas por semana (horas/semana). Las variables denominadas 'blandas' [3] como la energía del estudiante o la manera como el tiempo dedicado a cada actividad influye en las notas finales se han determinado mediante porcentajes. El tiempo de simulación del modelo es de dieciocho semanas.

3. SECCIÓN DE RESULTADOS

3.1. Gráficas

Las siguientes gráficas presentan el comportamiento obtenido para las variables de interés para el estudio del modelo. Se comparan los resultados obtenidos al simular los dos escenarios planteados; el primero se ha definido para un estudiante dedicado a su estudio y responsable consigo mismo y con sus deberes (SFinal2), mientras que el segundo se ha definido para un estudiante poco dedicado a sus actividades académicas que da prioridad al tiempo destinado para actividades sociales, de recreación y esparcimiento (SInicial2).

La Figura 2 muestra el comportamiento de la carga académica durante el semestre (18 semanas), para ello consideramos las fechas críticas donde el estudiante debe presentar exámenes parciales, proyectos, entre otros. La carga académica es la misma en ambos escenarios propuestos, la diferencia en los resultados se obtiene de los tiempos destinados para cada actividad en cada escenario.

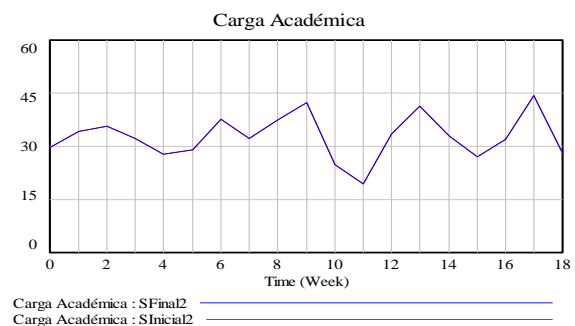


Figura 2. Carga académica

La Figura 3 presenta las tareas por realizar. Si el estudiante no dedica el tiempo necesario para cumplir con sus deberes académicos, éstos se acumulan y posteriormente le será más difícil realizarlos.

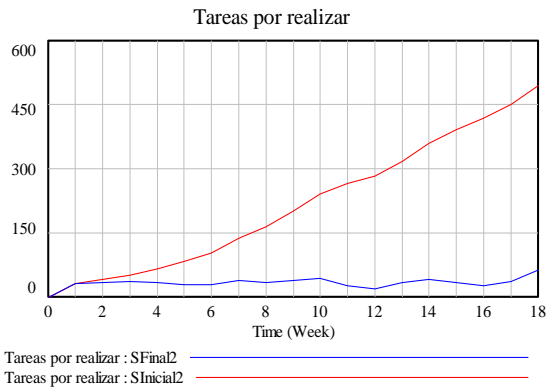


Figura 3. Tareas por realizar

Se observa que el estudiante que constantemente dedica tiempo a cumplir con sus deberes académicos presenta una carga académica baja y sin mayor variabilidad durante todo el semestre, mientras que si se permite la acumulación de deberes la carga académica será cada vez más alta y por consiguiente será más difícil de cumplir.

Si el estudiante permite la acumulación de las tareas requerirá la totalidad de su tiempo libre para cumplir sus deberes académicos, mientras que si las realiza cuando corresponde en algunas ocasiones tendrá tiempo libre que puede ser destinado a la realización de otras actividades de su preferencia. La Figura 4 presenta que al acumular trabajos por realizar sucede que el tiempo que el estudiante debería dedicar a la realización de los mismos para obtener un producto de calidad excede el tiempo disponible para ello, por lo tanto podemos concluir que debe incumplir con la entrega de algunos deberes académicos o en caso contrario cumple con la totalidad de los mismos, pero el producto es de mala calidad, lo cual posteriormente afecta sus calificaciones.

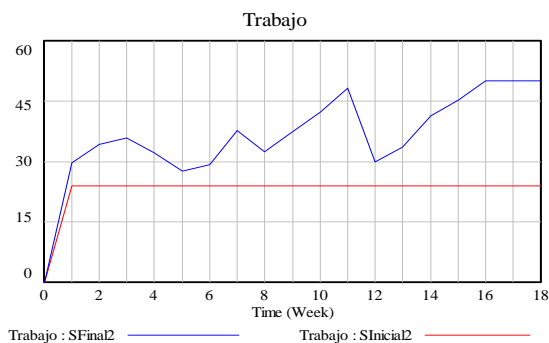


Figura 4. Trabajo

Si el estudiante no programa sus actividades de tal manera que tenga el tiempo disponible para lograr su rendimiento académico deseado debe disminuir su meta inicial, presentándose una situación descrita por

el arquetipo sistémico de erosión de metas [4]. La Figura 5 presenta la diferencia entre el rendimiento real del estudiante y el rendimiento esperado y cómo durante el semestre el estudiante debe ajustar sus metas acorde a su desempeño.

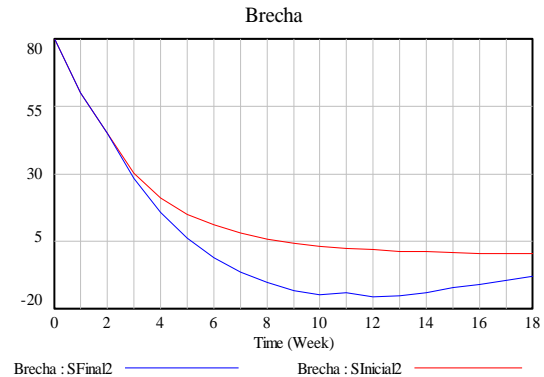


Figura 5. Brecha

Dependiendo del tiempo que el estudiante dedique a actividades extracurriculares como deporte, rumba, hobbies y vida social, su nivel de energía será afectado. Otros factores como la salud y el estrés pueden afectar su nivel de energía, por consiguiente su productividad disminuirá, lo cual se refleja en la calidad de sus trabajos académicos. La Figura 6 muestra cómo se comporta la energía de cada estudiante teniendo en cuenta que el estudiante responsable y dedicado invierte gran cantidad de la misma en el cumplimiento de sus actividades académicas, mientras que la energía del estudiante poco dedicado se mantiene más baja por los excesos que comete en otras actividades de diversión y esparcimiento, descuidando su tiempo de descanso que le permite reponer un poco la energía perdida. Finalmente, se observa cómo la carga académica lleva al final del semestre a que en ambos escenarios los niveles de energía disminuyan y por consiguiente a la disminución de resultados.

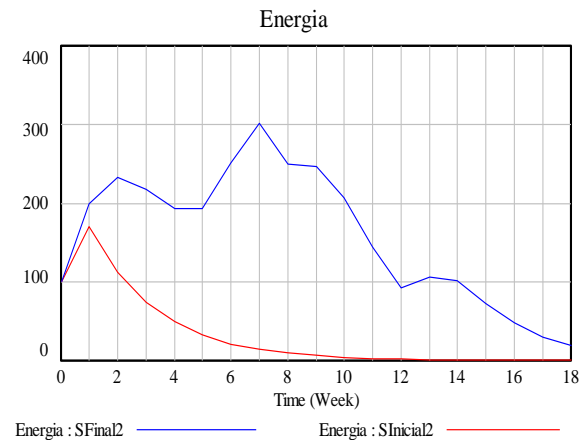


Figura 6. Energía

Lo anterior se ve reflejado en las notas obtenidas por el estudiante al final del semestre académico; las cuales se pueden observar en la Figura 7.

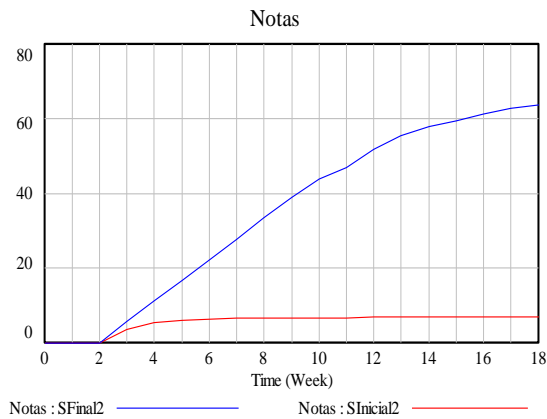


Figura 7. Notas

Las calificaciones obtenidas en el primer escenario reflejan la responsabilidad y dedicación del estudiante propuesto en el mismo, mientras que en el otro escenario se evidencia que la falta de responsabilidad y pérdida de energía hacen que la poca productividad del tipo de estudiante propuesto haga que sus calificaciones sean bajas y poco deseadas, al comparar estos dos escenarios es posible afirmar que una adecuada distribución del tiempo, la responsabilidad, el interés por estar al día con las actividades académicas propuestas y un buen descanso hacen que el desempeño académico del estudiante sea satisfactorio, lo cual se refleja en las calificaciones que éste obtiene una vez finaliza el semestre.

3.2 Tablas

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para la variable energía del estudiante durante las dieciocho semanas de simulación del modelo. Se observa cómo el estudiante inicia el semestre con un 100% de energía y cómo el cansancio, la ansiedad y el estrés producto de la carga académica y las demás actividades que realiza hacen que con el paso del tiempo ésta disminuya

Tabla 1. Energía

Time (Week)	"Energia" Runs:	Energia
0	SFinal2	100 100
1	SInicial2	200 170
2		233.167 112.2
3		218.255 74.052
4		193.551 48.8743
5		192.693 32.257
6		250.751 21.2897
7		301.262 14.0512
8		249.5 9.27377
9		247.225 6.12069
10		207.104 4.03966
11		144.268 2.66617
12		92.0752 1.75967
13		106.281 1.16138
14		101.664 0.766514
15		72.9835 0.505899
16		48.791 0.333893
17		30.2504 0.22037
18		18.7552 0.145444

La Tabla 2 presenta las notas obtenidas durante el semestre académico para los dos escenarios propuestos en el modelo, las notas presentadas en la tabla son sobre 100 puntos. Esta tabla permite conocer el resultado final producto de la relación entre las variables estudiadas y le permitirá conocer una aproximación al estudiante respecto de sus calificaciones al final del semestre considerando su disciplina, responsabilidad, compromiso y hábitos de estudio durante el transcurso del mismo.

Tabla 2. Notas

Time (Week)	"Notas" Runs:	Notas
0	SFinal2	0 0
1	SInicial2	0 0
2		0 0
3		5.55556 3.5635
4		11.1111 5.24894
5		16.6667 5.94249
6		22.2222 6.28868
7		27.7778 6.48114
8		33.3333 6.58907
9		38.8889 6.64946
10		43.7209 6.68399
11		46.9034 6.70405
12		51.7314 6.71585
13		55.3673 6.72299
14		57.9124 6.72741
15		59.5275 6.73019
16		61.3156 6.73196
17		62.831 6.73309
18		63.5112 6.73382

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los resultados obtenidos podemos observar las diferencias en las variables del modelo con respecto a la forma en que se puede distribuir el tiempo de un estudiante, dependiendo de las actividades que tenga planeadas y otras que son impredecibles y que no son tomadas en cuenta.

Podemos ver lo importante que es tener en consideración todas las actividades que se deben realizar y el tiempo que se debe disponer para poder cumplir las metas, aspiraciones, y que puedan ser soportadas también física y mentalmente por la persona. También se percibe que al distribuir mejor su tiempo para las diferentes actividades, se tiene la posibilidad de soportar los cambios inesperados que se presentan durante un semestre académico y así poder mantener las metas o aspiraciones iniciales.

6. CONCLUSIONES

El modelo permite establecer diferentes escenarios para planear el tiempo de estudio y esparcimiento de acuerdo con las metas académicas propuestas por cada estudiante.

La herramienta desarrollada permite identificar los tiempos de estudio y esparcimiento que debe dedicar un estudiante universitario para obtener resultados satisfactorios en un semestre académico y lograr las metas propuestas.

Para investigaciones futuras en el campo académico y social se puede utilizar el modelo como punto de partida para desarrollar metodologías y hábitos saludables de estudio.

El modelo parte del supuesto que las instituciones académicas de educación superior presentan la misma carga académica en los mismos momentos y programas académicos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] HOMER, J. B., "Worker burnout: A dynamic model with implications for prevention and control", *System Dynamics Review*, (1985), 1: 42-62. doi: 10.1002/sdr.4260010105.

[2] OLIVA, Rogelio and Sterman, John D., "Cutting Corners and Working Overtime: Quality Erosion in the Service Industry", *Management Science*, Vol. 47, No. 7 (Jul., 2001), pp. 894-914.

[3] STERMAN, John D. "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World", Boston, EUA: Irwin: McGraw-Hill, 2000, c2000., pp 159-168.

[4] SENGE, P. M. (1994). "La Quinta Disciplina": Ed. Granica, Buenos Aires.

8. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al profesor Fernando Antonio Arenas, del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi por su esfuerzo para fortalecer el área de Dinámica de Sistemas en la Universidad, constante motivación y valiosa colaboración durante el desarrollo del modelo.

9. CURRÍCULUM

Diego Fernando Soto Figueroa, estudiante de IX Semestre de Ingeniería Industrial. Universidad Icesi, Cali.

Fabio Andrés Parra Taborda, estudiante de IX Semestre de Ingeniería Industrial. Universidad Icesi, Cali.

Christian Felipe Correa Salazar, estudiante de VIII Semestre de Ingeniería Industrial. Universidad ICESI, Cali.

ASPECTOS FORMALES DEL LENGUAJE Y LA METODOLOGÍA DE LA DS

Assessment methodology for models of business dynamics

*Rafael E. Bourguet, PhD, *Nancy Aceves, PhD., María del Carmen Temblador, PhD. **Jorge Garza, MSc.,
**Pablo Vargas, MBA., **Elvira Navarro, BIE,
* ITESM Campus Monterrey, México, **CEMEX Monterrey, México
bourguet@itesm.mx, naceves@itesm.mx, mctemplador@itesm.mx, elvira.navarro@gmail.com,
jorge.garzac@cemex.com, pablocesar.vargas@cemex.com

Abstract— In the context of a university-enterprise research cooperation agenda, it is presented an assessment methodology to face up to the question: how consistent and robust is a model of business dynamics to support the next set of constructions? The situation under study is the concrete business environment where an iThink-based application has been running successfully for several years and an upgrade with new functions was desired. The above question was placed to a System Dynamics faculty of a university in Mexico. Due to this, an assessment methodology was outline for this application and the actual results here described show the viability of the methodology proposed for on-going business dynamic models.

Key words: Assessment methodology, business dynamics, iThink application.

1. INTRODUCTION

The primary goal of this paper is to present an assessment methodology for on going dynamic models that allows designers to evaluate their consistency, strengths and potential applications. An University-Enterprise research cooperation agenda gave the Monterrey Tech¹ faculty an opportunity to improve a specific model of business dynamics, while modifying the taken-for granted assessment methodologies and propose a new set of activities to evaluate the transfer capability of on-going models from a systemic approach.

In business dynamics, as well as in all the knowledge areas, there are plenty of methodologies for assessment of specific issues. Authors like Sterman (2000), Schaffernicht (2006) and Pantelides (2009) refer to a multicycle learning experience while

¹ Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey

elaboration, validation and exploitation of dynamics model knowledge.

In this paper we intent to focus on the characteristics of the specific research approach developed to improve a model of business dynamics. This is to guide future initiatives and enhancements of running models.

2. CASE UNDER STUDY

The assessment methodology here outlined is a result of an on-going research project between the university Monterrey Tech and the building materials company CEMEX, in the ready-mix concrete business. Ready-mix concrete is a multi-purpose product that fulfills the market's demand for more integrated building solutions required by the modern construction sector. By varying the proportion of water, aggregates, and cement in the mix, the concrete's resistance, manageability, and finish is modified to fit the customer needs.

The specific project was the validation process and improvement of a dynamic simulator called SIMUL©². This model was developed in 2008 after an analysis of the current supply chain operations in the main cities of Mexico.

This is a comprehensive platform that encompasses the different data and reports of the ready-mix business dispatch. It provides the visibility to a concrete planner/dispatcher to better determine the allocation of resources to fulfill the customer's agreed delivery time.

This platform is based on iThink and support the planning and optimization of the resource allocation process within the context of order fulfillment. Plant

² © CEMEX, México

loads and trucks are assigned and re-assigned based on the customer's needs, which happens to be highly volatile in this context. Continuous adjustments, modifications and cancellations of orders happen throughout the day.

SIMUL© has been designed to achieve three objectives: (1) to anticipate potential operational breaks, (2) to identify the best plant to deliver each service, and (3) to enable a planner/dispatcher to undertake corrective actions in order to ensure the timely fulfillment of orders.

The information interactions in which SIMUL© participates are illustrated in Figure 1. Here, GINCO© is the information system where customer's orders and plant capability information are registered. Besides, GINCO's plant module formulates the right mixes and controls the plant equipment by an automated process which enables it to produce an accurate specification concrete.

SIMUL© reads and processes data from GINCONET© through Excel files. Data, such as, plant capacity, number of available trucks, cycle times, load and discharge minutes per truck, times between the plant and the customer's construction site, number of plants per centralized city, and available capacity per plant are the input information to SIMUL©. These data is processed by the iThink model, which generates a set of reports. The reports are the outputs that enable the planner/dispatcher to take corrective actions to anticipate potential problems. The whole process takes 5 minutes on average.

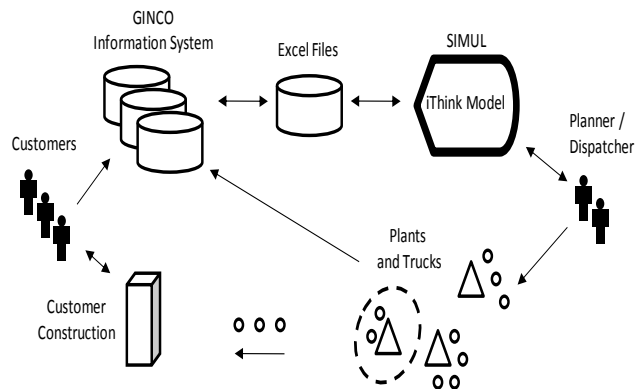


Figure 1. Information interaction within the order fulfillment process.

The model for each centralized city contains all the plants that have to be managed. Operational variables for each plant are analyzed on screens showing the number of programmed/fulfilled services per hour in

each plant, delays in the accumulated loads, number of allocated trucks in real time, average trips of each truck. The model simulates the percentage of expected fulfillment using actual and online data. Different scenarios can then be observed before making a decision for a corrective action. Also, past problematic events can be recreated using actual data and then studied in a dynamic and systemic way to learn about past decisions and actions. Visual indicators are available and they change in colors green, yellow, and red based on available capacity in resources, for instance, trucks per facility (CEMEX, Research Group, 2009).

3. ASSESSMENT METHODOLOGY

The focus of the methodology is mainly on structure assessment and dimensional consistency. Thus, the methodology is focused on 2 out of 12 tests proposed by (Sterman, 2000, Section 21.4) for model testing in practice. The main reason is: the methodology addresses models already in use and, running successfully, with current needs for transferability and alignment to wider business goals.

The reflective approach is used as is exposed (Sterman, 2000, pp. 858) "to promote enquiry, expose hidden assumptions, motivate widest range of empirical test, challenge perceptions and support multiple viewpoints,... involve a widest community, promote the empowerment of the clients" and, in this case, of the designer.

The assessment process is carried out by eliciting and documenting design concepts supported by three sources of information: reports, data files, and mental models of the designer. A set of interviews with the designer and the analysis of the model are then the core activities in the process.

The following 14 stages comprise the methodology and are classified by three classes: stages 1-3 refer to the business context understanding; stages 4-9 refer to the model analysis; stages 10-14 refer to model standardization and dissemination.

1. Determine the context of the application.

The model answers questions of a client. Then the first step is to identify the context of the client, context that would give significance to any knowledge represented into the model. It is important to clarify functions and stakeholders that interact with the model.

2. Determine the function of the “business dynamics”-based model into the context.

What is the role or function the model plays along with other functions into the process under study?

What kind of decisions or policy should be made or designed, respectively? Since the model should be aligned with other activities of the system, it is relevant to explicitly declare the current and new functions that are expected to accomplish.

3. Identify the value of the model into the business context.

What would it happen if the model were not in place? To add value into the process under study is what matter after all. Some business indicators should be linked to the function explicitly declared for the model in stage 2, above. So, benefits can be quantified by allocating resources on both activities: model assessment and functional redesign.

4. Establish a functional or spatial net (quadrants, sectors) over the model to reference the structures.

Once into the model analysis, structures should be agile referenced by sectors or quadrants, or both. The former refers to functional distribution and the latter, to spatial distribution. So, the questions: Is the model structured by sectors? or Should it be analyzed by quadrants? If the latter applies then a net would be plotted over the model. The grid size would consider covering fundamental structures.

5. Verify or identify function purposes in every sector or quadrant.

The purpose of every function must be verified in sectors or quadrants. Sometimes, several structures comprise one function, and several functions are carried out into one sector or quadrant. In such a case, it is useful to recall that this is an analysis process where the goal is to review the indivisible functions of the model.

6. Identify input and output variables of every structural function.

Input and output variables should be explicitly declared for every function. They are neither obvious nor evident in models of System Dynamics. Simply, because of its endogenous nature, and as a consequence the conventional notion for a system is

not graphically followed: input-process-output-feedback. For instance, a stock or state variable may be the output variable most of the time, however it does not appear at the end of the structure, rather than it appears at the center.

7. Understand main design equations.

The relevant design equations should be identified, understood, and documented as a system of instructions that achieve the identified purpose of the function. Not all the equations of a model reveal the design concepts, which have to be unveiled in many times. Thus, understanding about the context, knowledge about the specific process under study, and the expertise about the computational package in which the model is implemented are essential assets to carry out this task. To document of the design equations is one of the main products of the assessment methodology.

8. Realize structural and dimensional test.

Structure consistency is based on the dimensionality test, so they are carried out simultaneously. Based on (Sterman, 2000, pp. 859) the following questions should be considered for the structure assessment: “Is the model structure consistent with relevant descriptive knowledge of the system? Is the level of aggregation appropriate? Does the model conform to basic physical laws such as conservation laws? Do the decision rules capture the behavior of the actors in the system?” For the dimensional test: “Is each equation dimensionally consistent without the use of parameters having no real world meaning?”

9. Describe the understood function based on the main design equations.

This stage describes the transformation process of the function. A concise description about how the inputs are transformed into the outputs based on the structure and design equations is realized. This stage enables the enquiry process by questioning every single relationship and element into the function.

10. Generate an enquiry process to identify inconsistencies based on a balance between computational effort and communication efficacy.

The enquiry system is a set of questions to obtain a balance between computational efficiency and communication efficacy through the model. This balance is very important to capture and disseminate knowledge and experience over the organization. So,

there may be redundancy in relationships or elements, from the viewpoint of computational efficiency, but they may be necessary to agilely transfer useful knowledge about the process under study. This reflective process tests both single assumptions and the assumptions structure as well. It is mainly a group process where the learning of the participants is a valuable product.

11. Declare opportunities.

Every question of the enquiry system should be seen as an opportunity for simplifying the model or verifying assumptions. But, more important, a creative process is triggered by exposing the limitations of the model, and the mental models of the participants as well. Then, an enrichment of the learning process is given when those limitations are declared and documented as opportunities. Certainly, not all of them will be implemented, but again, the learning process is worthy.

12. Standardize structures

The style of the designer should be well identified at this point. Recurrent concepts and types of structures should appear clear to the eyes of the reviewer. As expected, the reviewer may observe differences by implementing the same concepts with slight differences on the structures. This stage should help to eliminate such differences by promoting structure standardization. The two main intentions are to provide a set of useful and trustable structures that can be used for all the organization and to provide a robust model.

13. Document findings and followed process

Products of the assessment process should be: document of design of the current version, document of the enquiry process and opportunities, and technical report of the assessment process followed. The design document should cover the technical items and issues of the model. The enquiry and opportunity document should cover the business context, enquiry, simplification, assumption verification, and opportunities of the model. Finally, a technical report should cover the entire assessment process where learning of the participants, conclusions about the consistency and robustness of the model should be established, and future research or actions should be proposed.

14. Disseminate process over the organization.

Official channels of the organization should be used to inform the results in order to promote participation of interested members to tackle the identified opportunities. Also, a resource to promote self-directed learning about the design concepts of the model revealed through the assessment process should be elaborated.

4. METHODOLOGY APPLICATION

The proposed methodology has been applied to assess the iThink-based application described above for operational planning in the concrete industry during the first semester on 2010. The model has successfully run for a couple years in several locations in Mexico. One specific need is the assessment of the model over two dimensions: consistency and robustness.

Some characteristic underline this methodology: systematic and systemic inquiry is a feature in all the process; it tries to minimize the day to day decisions that happens so fast that they tend to be momentary, fleeting, intuitive and mostly tacit; and it is data-driven throughout the process. While completing each phase, a number of team meetings were required. In each one, business and academic parties, share common understanding of the application and an inquiring phase took place. A synthetic description of the first seven application phases is provided below and more detail can be provided upon specific request for the rest.

1. Determine the context of the application.

In SIMUL, the context is the concrete industry; order fulfillment process of concrete; operative planning; dynamic allocation of resources (trucks and plants) ; 24 hours horizon time for simulation. Main challenges: daily 60% of changes in the planning made in the previous day, that means one-hour concrete lifetime. Decisions to handle 150 trucks and 13 plants with the simulator on packages of 4 hours horizons on average are common practice in a daily basis.

2. Determine the function of the “business dynamics”-based model into the context.

The function of the business dynamics-based model is to support decisions of the operative planners and dispatchers, see Figure 2, in an hourly basis in order to guarantee the delivery timing. Planning and

dispatching are one the main function in the order fulfillment process.



Figure 2. Order fulfillment process.

3. Identify the value of the model into the business context.

The model enables planners and dispatchers to forecast potential issues in the distribution operation: plant saturation, lack of trucks, as well as, inconvenient practices carried out by other stakeholders of the process.

4. Establish a functional or spatial net (quadrants, sectors) over the model to reference the structures.

As shown in Figure 3 and 4 the actual structures of the model are analyze and the core function located to be divided in a spatial net of quadrants to further analysis and description.

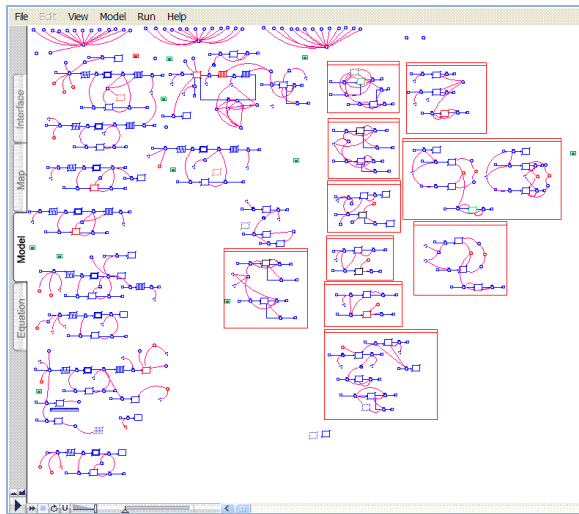


Figure 3. Original model

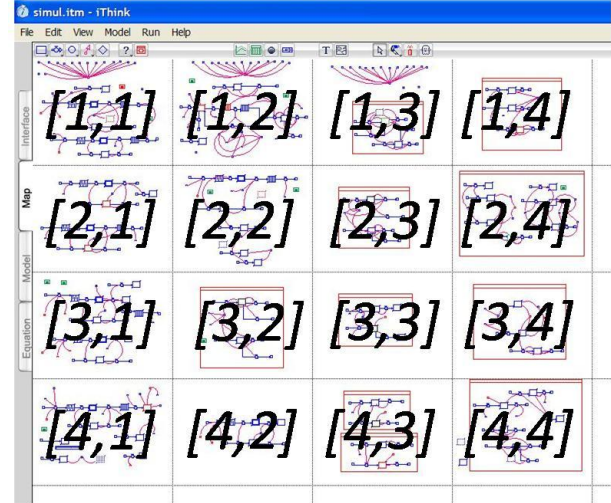


Figure 4. Quadrants in redistributed model

5. Verify or identify function purposes in every sector or quadrant,

In SIMUL, the first quadrant has the purpose to establish a simulation (“should be”) loading minute based on verified conditions of execution and to generate synchronization signals for parallel processing on order information. This is shown in Figure 5.

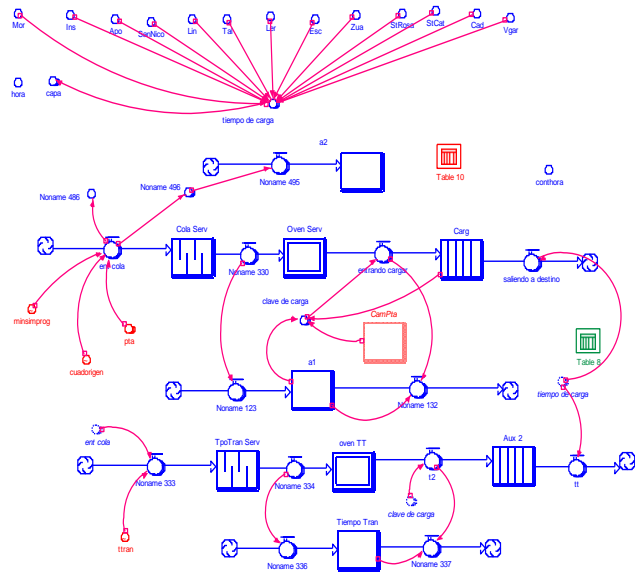


Figure 5. Quadrant [1,1]

6. Identify input and output variables of every structural function.

In the quadrant [1,1], the input variables are minsimprog, cuadorigen, pta, CamPta, and

tiempo_de_carga. While, the output variables are entCola, entrando_cargar, clave_de_carga. See Figure 6.

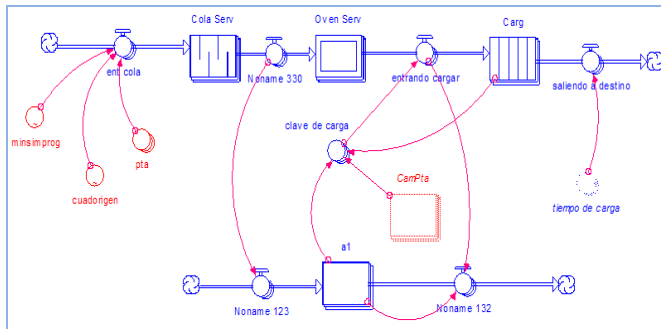


Figure 6. Loading minute in simulator.

7. Understand main design equations.

In SIMUL the design document included all the equations and their detailed description, as shown in Figure 7.

Design equations:
 To queue tickets of scheduled loading minutes to each plant in Cola_Serv
 $entCola[Planta] = IF(cuadorigen = pta[Planta]) \text{ then } minsimprog \text{ else } 0$

Description:
 First ticket in turn of the queue is moved to oven when previous ticket is not arrested; also see next set of instructions
 $Noname_330[Planta] = QUEUE TO OVEN FLOW$
 A ticket is arrested in Oven_Serv when clave_de_carga is 1 (it means ARREST=1)
 $clave_de_carga[Planta] = IF(Carg[Planta] = 0 \text{ and } CamPta[Planta] > 0 \text{ and } time \geq a1[Planta]) \text{ then } 0 \text{ else } 1$
 ARREST is a default implicit variable declared by entrando_cargar
 $entrando_cargar[Planta] = CONTENTS OF OVEN AFTER COOK TIME, ZERO OTHERWISE$
 $ARREST \text{ IF } clave_de_carga[Planta] = 1$
 Update mechanism to check scheduled loading minute in turn in a1
 $Noname_123[Planta] = Noname_330[Planta]$
 $Noname_132[Planta] = IF(entrando_cargar[Planta] > 0) \text{ then } a1[Planta] \text{ else } 0$
 Loading area (represented by Carg) is occupied for the number of minutes declared at TRANSITE TIME
 $saliendo_a_destino[Planta] = CONVEYOR OUTFLOW$
 $TRANSIT TIME = tiempo_de_carga[Planta]$
 Note: saliendo_a_destino = scheduled loading minute (ticket information)
 Note: saliendo_a_destino is not equal tiempo de carga under simulation execution

Figure 7. Quadrant [1,1] design equation.

5. CONCLUSIONS

The focus of tactical planning in the concrete business unit is to analyze the service fulfillment in advance and to ensure the feasibility of the delivery plan. The process to analyze the simulator enables the research group: (1) to develop high level team competencies; (2) to document the actual state of the model; and to (3) to evolve the model assuring its strengths and minimizing its weakness.

Other significant benefits have been obtained during the use of this methodology and its application to SIMUL: (1) reliable operational and tactical planning; (2) customer service level increased; (3) increased efficiency level of resources and (4) adoption by other centralized cities and users.

SELECTED REFERENCES

- [1] STERMAN, J. D. Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world, first edition. Boston, MA: McGraw-Hill, 2000. pp. 845-891.
- [2] SCHAFFERNICHT, M. Detecting and monitoring change in models. Wiley, 2006. Vol. 22(1) pp.73-88.
- [3] PANTELIDES, A. Assesment of the relative value of knowledge transfer processes to the success of international projects. Ph. D. Dissertation, 2009.

ACKNOWLEDGEMENTS

This article is sponsored by the Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (Monterrey Tech), Center for Knowledge Systems (Dr. Javier Carrillo) and CEMEX- Business Process (Dr. Myrna Flores and Mr. Martin Herrera).

BIOS



Rafael E. Bourguet-Diaz is Professor in Industrial and Systems Engineering at ITESM Campus Monterrey, Mexico. He teaches system dynamics and organizational process improvement in bachelor and graduate programs for both Engineering and Public Administration Schools. Dr. Bourguet specializes on knowledge reutilization using system dynamics, systems methodologies, and participative methodologies for decision-making. He has received

national recognitions as master thesis advisor in the Electrical Industry.



Nancy Aceves is Professor in Industrial and Systems Engineering at ITESM Campus Monterrey, Mexico. She teaches Business Strategy and Engineering Economics in bachelor programs. Dr. Aceves is the project leader for business dynamic track in the ITESM-CEMEX research group and specializes on strategic planning and project management.



María del Carmen Temblador is Professor in industrial and Systems Engineering at ITESM Campus Monterrey, Mexico. She teaches systems structural modeling, experiment analysis and statistics. Dr. Temblador is a certified Six Sigma Black Belt and holds a master degree on Systems, Quality and Operations Research as well as the Ph. Degree on Systems Engineering.



Jorge Garza is Operative Planning Manager for CEMEX where he has worked for the past 23 years in areas such as Logistics, Supply Chain Management and commercial Development. Over the past 15 years, Jorge has been proactively researching and developing a wide array of dynamic computer simulations, specifically in the Supply Chain Process, which include: Inventory Management, Production Scheduling, Distribution Facility Management, Transportation Management and Order Scheduling and Fulfillment. Currently he is collaborating with Monterrey Tech University (ITESM) in the project System Dynamics applied to resource allocation for the Concrete Industry.



Pablo Vargas is a supply chain management process expert in CEMEX for the design and implementation of planning and dispatching tools for ready mix, aggregates and asphalt operations in CEMEX Europe. Recently, he participated in the processes redefinition for the concrete dispatching and vehicle scheduling in Mexico, implementing a system dynamics model to improve the visibility for regional dispatchers increasing on-time deliveries.

A camino largo, paso corto: La noción de realimentación en Dinámica de Sistemas

Fernando Guerra Avellaneda
Universidad Central
fguerra@ucentral.edu.co

Resumen: La realimentación desempeña un papel protagónico en Dinámica de Sistemas. Justifica, entre otras cosas, la apuesta de los estudiosos a privilegiar lo endógeno a lo exógeno y en la actualidad sigue considerándose uno de los “ladrillos constituyentes” de los modelos de Dinámica de Sistemas. Las discusiones en torno a las relaciones estructura-comportamiento ponen al descubierto una serie de inquietudes en el terreno de lo cualitativo y lo cuantitativo que exigen una respuesta acerca del desarrollo y la comprensión de la realimentación en tal disciplina.

Este documento asume que la noción de realimentación es susceptible de aproximarse mediante el estudio sistemático de modelos de Dinámica de Sistemas (contextos) en los que se encuentra presente. Dicha forma de trabajar subraya su “inagotabilidad”, la imposibilidad de definirla de una vez por todas (la noción se encuentra en continua determinación mientras se abordan los contextos posibles). En esta vía, se presentan tres ejemplos tomados de diversas disciplinas con los que se pretende abonar el camino para establecer invariantes que permitan un acercamiento a la noción de realimentación en Dinámica de Sistemas.

Palabras Clave: realimentación, relaciones estructura-comportamiento, oscilaciones, seudoperiodicidad.

1. INTRODUCCIÓN

Se entiende por realimentación, (ver [1]) una situación en la cual dos o más entidades se conectan de tal suerte que se afectan entre sí y sus dinámicas están fuertemente acopladas. La realimentación en la que se acostumbra enfatizar es la realimentación de bucle cerrado, en la cual los sistemas están interconectados formando un ciclo. Inicialmente la realimentación negativa le permite a un sistema ser insensible, tanto a perturbaciones externas como a las variaciones en sus elementos individuales. Es decir, con la realimentación negativa se intenta regular el sistema reaccionando a las alteraciones en una forma que decrezca el efecto de tales alteraciones, mientras

que con la realimentación positiva, el incremento en alguna variable o señal lleva a la situación en la cual se incrementa, teniendo un efecto desestabilizador acompañado normalmente por una saturación que limita el crecimiento de la cantidad.

A continuación se muestra con un par de aplicaciones provenientes de disciplinas distintas, que la identificación de bucles de realimentación negativa y positiva con comportamientos convergentes y divergentes, respectivamente, no siempre es acertada. En realidad, la comprensión de las relaciones estructura-comportamiento, incluso en el caso de los sistemas lineales, sigue sin establecerse a cabalidad [2].

Para empezar, se exhibe un ejemplo de un sistema lineal conformado por un par de osciladores armónicos libres y no amortiguados que presentan el fenómeno de seudoperiodicidad.

Enseguida se explora un modelo que se reconoce ampliamente como emergente, el comportamiento de las bandadas de pájaros. Este ejemplo de sistema no lineal recobra el vínculo entre la realimentación negativa y la noción de emergencia, aunque sus soluciones son convergentes se encuentran supeditadas a las condiciones iniciales impuestas.

Luego se ejemplifica un sistema de control no lineal de congestión en redes que permanece en un régimen estable independiente de las condiciones iniciales establecidas.

Los modelos presentados en conjunto evidencian que los comportamientos de sistemas realimentados negativamente no son siempre convergentes.

2. DINÁMICA DE ALGUNOS SISTEMAS CON REALIMENTACIÓN NEGATIVA

2.1 EJEMPLO 1: Seudoperiodicidad en osciladores

Se considera un resorte vertical de longitud l (el modelo también vale para oscilaciones horizontales).

Al sujetar un objeto de masa m sufrirá un alargamiento debido a la fuerza de gravedad. Se adopta el convenio que las fuerzas y desplazamiento son positivos si se dirigen hacia abajo. Sobre la masa m actúan cuatro fuerzas, cuya suma será la fuerza total sobre el objeto:

- El peso mg ($m > 0$).
- La fuerza restauradora, que es proporcional a la elongación del resorte y se opone al desplazamiento $-kx$ ($k > 0$).
- Una fuerza de amortiguamiento que el medio ejerce sobre la masa y es proporcional a la magnitud de la velocidad para valores pequeños de esta. $-bv$.
- Una fuerza externa aplicada a la masa, que depende del tiempo $f(t)$.

Por la segunda ley de Newton tendremos:

$$mx'' + bx' + kx = f(t)$$

Se estudia el caso en que no se aplica fuerza externa a la masa y no hay amortiguamiento

$$mx'' + kx = 0$$

Introduciendo las variables x_1 y x_2 con $x = x_1' = x_2$ tenemos el sistema de primer orden

$$\begin{aligned} x_1' &= x_2 \\ x_2' &= -\omega^2 x_1 \end{aligned}$$

Donde $\omega^2 = k/m$ (ω es la **frecuencia natural del sistema**). El diagrama de Forrester se muestra en la *figura 1*.

Este sistema presenta un comportamiento oscilatorio, lo que afirma que la masa permanece en reposo, o bien oscila para siempre alrededor de su posición de reposo con la misma amplitud y periodo. Además, tal movimiento no depende de la condición inicial. Este movimiento se conoce como **movimiento armónico simple**.

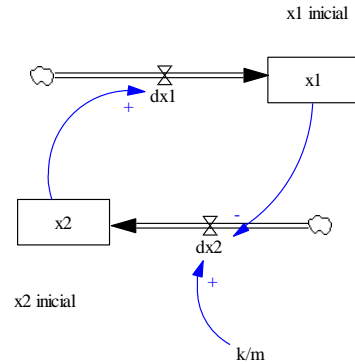


Figura 1. Diagrama de Forrester del oscilador armónico libre y no amortiguado.

Si bien tal comportamiento es ampliamente conocido, menos lo es el comportamiento resultante si se acoplan dos osciladores cuya estructura es idéntica. Por ejemplo, considere dos masas iguales conectadas entre sí y cada una a su vez conectada a una pared por resortes:

$$\begin{aligned} mx_1'' &= -(k_1 + k_2)x_1 + k_2 x_2 \\ mx_2'' &= -(k_1 + k_2)x_2 + k_2 x_1 \end{aligned}$$

El sistema de primer orden asociado mediante las sustituciones $x_1' = x_3$ y $x_2' = x_4$ es:

$$\begin{aligned} x_1' &= x_3 \\ x_2' &= x_4 \\ x_3' &= -(\omega_1^2 + \omega_2^2)x_1 + \omega_2^2 x_2 \\ x_4' &= -(\omega_1^2 + \omega_2^2)x_2 + \omega_2^2 x_1 \end{aligned}$$

En este sistema la primera solución corresponde a la suma de las dos masas moviéndose en la misma dirección con el resorte del medio en reposo (en tal caso la frecuencia resultante es determinada por los dos resortes de los extremos con constante k_1), mientras que la segunda solución corresponde a los dos cuerpos moviéndose simétricamente con respecto a la posición central (en tal caso los tres resortes se elongan y comprimen), luego la frecuencia involucra a k_1 y k_2 .

Lo más interesante es que si bien presenta oscilaciones, puede ocurrir que se den dos o más frecuencias sin periodo común, es decir el sistema presenta un comportamiento que no es propiamente periódico, sino **seudoperiódico** [3].

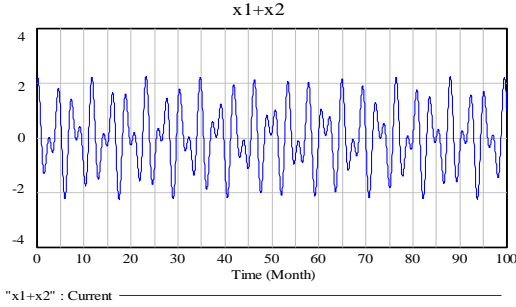


Figura 2. Comportamiento seudoperiódico de las soluciones de un par de osciladores armónicos libres y no amortiguados.

Cabe mencionar que la seudoperiodicidad continúa presentándose aun si los subsistemas están desacoplados. Por ejemplo:

$$\begin{aligned} x_1'' &= -\omega^2 x_1, \\ x_2'' &= -\omega^2 x_2 \end{aligned}$$

Introduciendo las variables $x_1' = x_3$ y $x_2' = x_4$ se obtiene el sistema de primer orden:

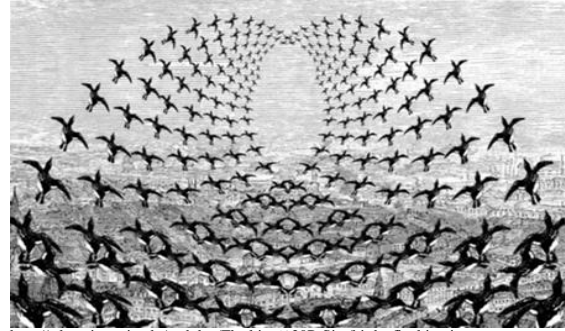
$$\begin{aligned} x_1' &= x_3 \\ x_2' &= x_4 \\ x_3' &= -\omega^2 x_1 \\ x_4' &= -\omega^2 x_2 \end{aligned}$$

2.2 EJEMPLO 2: Realimentación y emergencia en bandadas.

El movimiento colectivo de cierto número de entidades sin un guía principal conocido como comportamiento de bandadas, se reconoce como el ejemplo por antonomasia de fenómeno emergente (elementos interactuantes que tienen autonomía pero que como sistema dan lugar a comportamientos no triviales).

Las bandadas se caracterizan porque las entidades no se amontonan (hay separación), se alinean en la dirección media de sus vecinos y a la vez se cohesionan.

El modelo que se relaciona aquí tomado de [4], describe la evolución de un par de entidades en términos de las posiciones y las velocidades individuales. Se trata entonces de establecer para cuáles condiciones iniciales, el estado de la agrupación converge a una situación en la que las entidades que la conforman viajan con la misma velocidad.



http://education.mit.edu/webdav/Flocking%20P-Sim/birds_flocking.jpg

Figura 3. Bandada de Pájaros

Para comprender el fenómeno de bandadas se establece el supuesto que *las entidades se influncian entre sí en función de la distancia entre ellas.*

Formalmente, se tiene una función no decreciente

$$F(x_1, x_2) \approx -x_2 / (1 + x_1)^a$$

Esta función decrece continuamente con x_1 y su tasa de decaimiento de la influencia entre entidades de la bandada cuando se separan en el espacio es $a > 0$.

Conviene estudiar su dinámica (la evolución en el tiempo) considerando $x_1, x_2 \in \mathbf{R}$ las diferencias entre las posiciones y las velocidades de dos entidades (pájaros, por ejemplo) respectivamente.

La pareja (x_1, x_2) satisface:

$$\begin{aligned} x_1' &= x_2 \\ x_2' &= -x_2 / (1 + x_1)^a \end{aligned}$$

El diagrama de Forrester del sistema es:

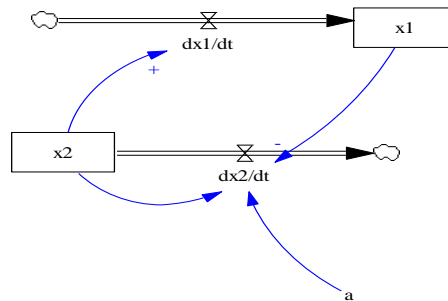


Figura 4. Diagrama de Forrester de la dinámica de un par de entidades en bandada.

El modelo busca mostrar las propiedades de las bandadas en términos del comportamiento de cada

entidad y la forma en que cada una interactúa con otras entidades (ver detalles en [5] y [6]).

Es importante resaltar que el tipo de realimentación que surge al implementar el modelo es realimentación negativa, sugiriendo que debe haber un comportamiento convergente.

Para $a < 1$, independiente de las condiciones iniciales, se tiene que x_1 es acotada y $x_2 \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow \infty$.

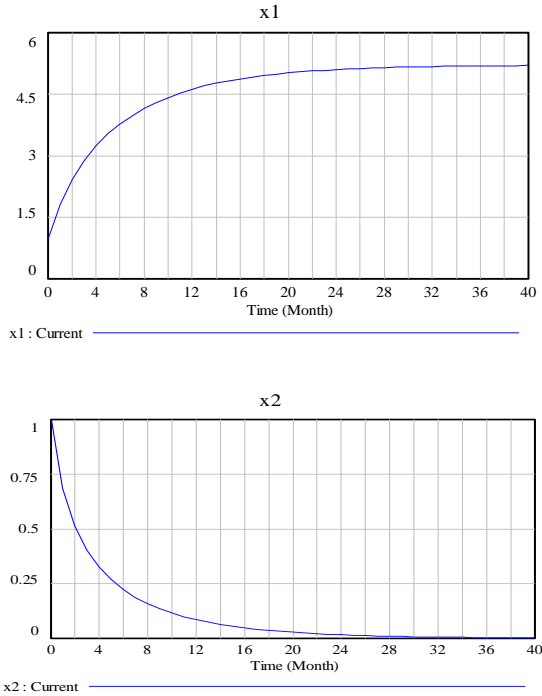


Figura 5. Soluciones convergentes para el modelo de bandada.

Para $a > 1$, posiciones y velocidades iniciales mayores que cero, x_1 acotada, entonces $x_2 \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow \infty$.

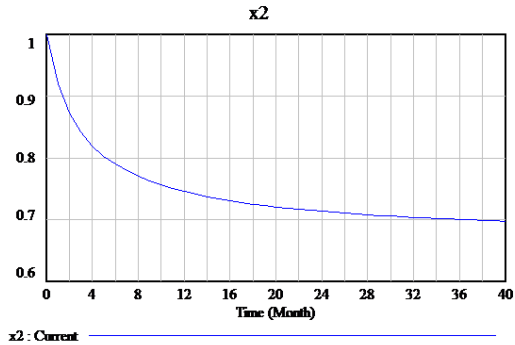
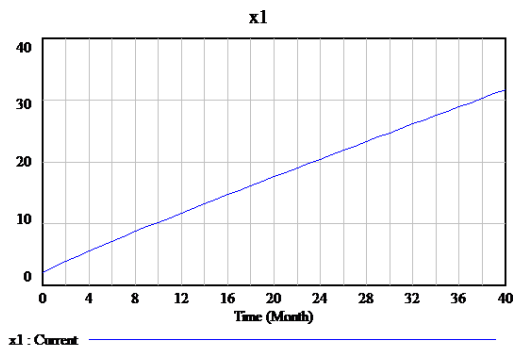


Figura 6. Solución divergente y convergente de la posición y la velocidad respectivamente, de la bandada.

El principal resultado es entonces:

Cuando $a < 1$ la convergencia de la bandada se garantiza con una velocidad común, mientras que si $a > 1$ la convergencia está condicionada por las posiciones y las velocidades iniciales.

Luego se asegura la existencia de soluciones divergentes para ciertos valores de los parámetros de tal forma que el sistema puede salir y entrar del régimen de equilibrio, dependiendo de la tasa de decaimiento y de las condiciones iniciales.

2.3 EJEMPLO 3: Control de congestión en una red

Internet es un sistema de comunicación altamente centralizado y expandible que consta de numerosos equipos interconectados. Un mensaje es separado en paquetes que son transmitidos a diferentes destinos en la red. Los paquetes son reunidos con el fin de recuperar el mensaje para el receptor. Un acuse de recibido es enviado al emisor cuando el paquete es recibido por el destinatario. La operación de este sistema es gobernada por una simple pero potente estructura de control descentralizada que evoluciona en el tiempo.

El sistema posee dos mecanismos de control llamados protocolos:

- El protocolo de control de transmisión (TCP) que garantiza que los paquetes sean enviados del emisor al receptor.
- El protocolo de Internet (IP) empleado tanto por el emisor como el receptor para la comunicación, trata de hacerlo lo mejor posible pero garantiza poco.

Un modelo para la congestión incluye tres elementos: La tasa a la cual los paquetes son enviados por los computadores, la dinámica de las líneas de espera en los enrutadores y el mecanismo de control de admisión para las líneas de espera [1].

Suponga que la red consta de N computadores idénticos conectados a un solo enrutador. La dinámica de la congestión de la red está dada por la relación:

$$w' = c/b - pc(1+w^2/2)$$

$$b' = Nwc/b - c$$

Donde w es el tamaño de la ventana de un computador medida en número de paquetes, b es la longitud del buffer del enrutador, c es la capacidad del link conectando el enrutador a los computadores y p controla la tasa a la cual los paquetes se pierden.

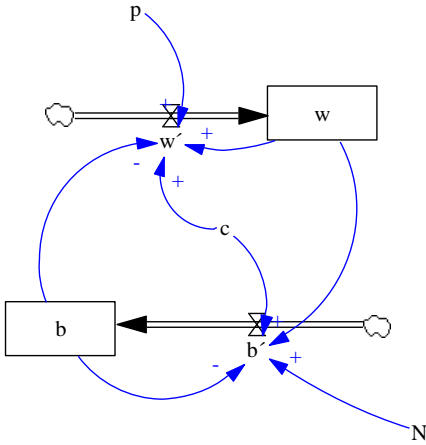


Figura 7. Diagrama de Forrester Control de Congestión de una red

El comportamiento de la red es estable como puede observarse en la figura.

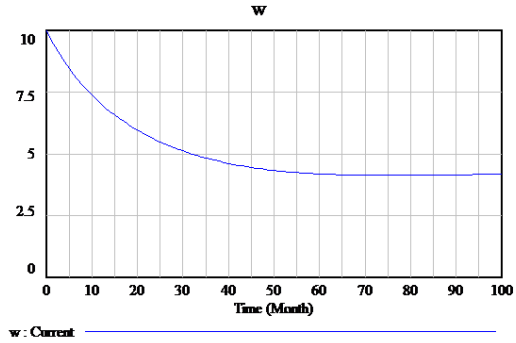
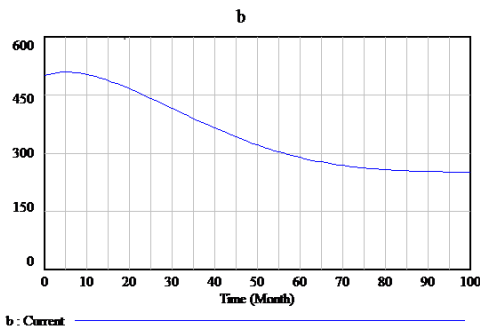


Figura 8. Soluciones convergentes independientes de la condición inicial para el problema de congestión en una red con 60 equipos idénticos

El sistema converge cuando el Buffer está por debajo de su capacidad de 500 paquetes y el tamaño de la ventana es del orden de tres paquetes. El comportamiento convergente del Buffer representa la capacidad del enlace en la red.

3. COMENTARIOS FINALES.

Los modelos estudiados corresponden a sistemas con realimentación negativa a los cuales acostumbra adjudicarse comportamientos convergentes. Este documento muestra, mediante ejemplos de variadas disciplinas, que los comportamientos convergentes no son la norma. El primer ejemplo exhibe un sistema lineal conformado por dos osciladores propios de la física, que exhibe pseudoperiodicidad (propiedad que no depende de si hay o no acoplamiento), el segundo ejemplo que puede catalogarse propio de la biología, (aunque es aplicable en otras áreas tales como la computación y el comportamiento de mercados, [5], [6] y [7]), caracteriza de forma simplificada el comportamiento de bandada, derivando en que deben imponerse condiciones sobre la posición y la velocidad inicial para garantizar la convergencia, a diferencia del último ejemplo (control de congestión en una red) donde la convergencia está garantizada para cualquier condición inicial.

La implementación del modelo de bandadas sugiere la existencia de una relación entre la noción de emergencia y la realimentación negativa que debe tenerse en consideración para estudios posteriores.

La escogencia de sistemas con realimentación negativa se justifica por la apuesta de los estudiosos a privilegiar lo endógeno en vez de lo exógeno y la consideración de la realimentación en general, como

“ladrillo constituyente” de los modelos de Dinámica de Sistemas (ver [8] y [9]).

A partir de la idea que la noción de realimentación es susceptible de aproximarse mediante el estudio sistemático de modelos de Dinámica de Sistemas (contextos) en los que se encuentra presente y acentuando en la imposibilidad de definirla de una vez por todas (la noción se encuentra en continua determinación mientras se abordan los contextos posibles), se constituye la idea de abonar con paso corto, el largo camino de búsqueda de invariantes que permita un acercamiento a la noción de realimentación (en esta oportunidad realimentación negativa) en la Dinámica de Sistemas.

4. REFERENCIAS

- [1] ASTROM, Karl J.; MURRAY, Richard M., *Feedback Systems: An Introduction for Scientist and Engineers*, First Edition. Princeton University Press; USA, 2008.
- [2] BLONDEL, Vincent D., MEGRETSKI, Alexandre, *Unsolved Problems in Mathematical Systems and Control Theory*, Princeton University Press, 2004
- [3] HIRSCH, Morris W.; SMALE, Stephen; DEVANEY, Robert, *Differential Equations, Dynamical Systems, and An Introduction to Chaos*, Second Edition, Elsevier, Academic Press, USA, 2008; pp. 114-119.
- [4] CUCKER, Felipe; SMALE, Stephen, *Emergent Behavior in Flocks*, IEEE, *Transactions On Automatic Control*, May 2007, pp. 852 – 862
- [5] TANNER, H. G.; JADBABAIE, A. and PAPPAS, G. J. *Stable flocking of mobile agents, Part I: Fixed topology*. *Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control*, 2003; pp 2010–2015.
- [6] TANNER, H. G.; JADBABAIE, A. PAPPAS, G. J. *Stable flocking of mobile agents, Part II: Fixed topology*. *Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control*, 2003; pp 2016–2021.
- [7] SPECTOR, L.; KLEIN J.; PERRY, C., Feinstein M, *Emergence of Collective Behavior in Evolving Populations of Flying Agents*, *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2003)*, pp. 61–73. Berlin: Springer-Verlag.
- [8] Richardson G. P, *Dynamic Complexity*, 50th Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences July 2006
- [9] RICHARDSON, G. P, *On the Foundations of Systems Thinking and System Dynamics – Deep Down, What Are We Really Doing?* K-12 Systems Conference, July 2008.
- [10] MIT Scheller Teacher Education Program *Flocking Activity*, Available: http://education.mit.edu/webdav/Flocking%20P-Sim/birds_flocking.jpg [citado 05 de noviembre de 2010].

Sinergias entre pensamiento sistémico y pensamiento de diseño

Synergies between systems thinking and design thinking

Fabián Szulanski

Director del Centro de Dinámica de Sistemas
Instituto Tecnológico de Buenos Aires
fabiansz@hotmail.com

Resumen: Al abordar la comprensión y posible resolución de un tipo de asunto complejo que diversos autores llaman “problemas perversos” (los cuales nunca se llegan a formular ni a resolver totalmente, resultando muy elusivos para los decisores), una manera de pensar y de hacer, denominada Pensamiento de Diseño (pensar y hacer como lo hace un diseñador), resulta de suma utilidad. El Pensamiento de Diseño incluye al Pensamiento Integrativo, que permite tomar en cuenta dos teorías contrapuestas y nutrirse de ambas al diseñar una solución.

En el presente trabajo el autor propondrá y fundamentará la incorporación del Pensamiento Sistémico como apalancamiento del Pensamiento de Diseño, el cual empoderará a los decisores al momento de encontrarse frente a un problema de este tipo. Asimismo el autor comentará acerca del enriquecimiento que tendría el Pensamiento Sistémico al integrarse un marco metodológico y praxeológico de avanzada, como lo es el Pensamiento de Diseño.

Palabras clave: Enfoque Metodológico, Pensamiento Sistémico, Pensamiento de Diseño, problemas perversos, complejidad.

Abstract: When tackling the understanding and the design of a possible solution for a type of complex issue that authors call “wicked problems” – which could never be definitely defined nor absolutely solved, resulting very elusive to decision makers-, a way of thinking and doing called Design Thinking – thinking and doing as a designer would- has proven being very useful. Design thinking also incorporates Integrative Thinking, which enables taking into account features from two opposed theories when designing a solution.

In the present work, the author will propose and explain the rationale of incorporating Systems

Thinking to the Design Thinking process, leveraging it, empowering decision makers while facing a problem of this kind. Apart from that, the author will comment about how Systems Thinking would be enriched if Design Thinking, a state of the art methodological and praxeological framework was integrated to it.

Key words: methodology, Systems Thinking, Design Thinking, wicked problems, complexity.

1.1 PROPOSITO DEL TRABAJO

Ante la presencia cada vez mayor de situaciones que se denominan “problemas perversos”, se impone la utilización de determinadas maneras de pensamiento, entre las que se encuentra el Pensamiento de Diseño, y el Pensamiento Integrativo, entre otros.

Hay ciertos aspectos del pensamiento dinámico-sistémico que no resultan suficientes al momento de abordar este tipo de situaciones.

El autor considera necesario continuar generando trabajos académicos que tiendan un puente metodológico, ilustrando cómo el pensamiento dinámico-sistémico puede agregar valor a otras maneras de pensamiento, y al mismo tiempo nutrirse de ellas.

Asimismo, esto facilita la difusión de la metodología en eventos académicos tradicionales, así como la eventual publicación en revistas y publicaciones de alcance más amplio que el de la Dinámica de Sistemas.

Considérese pues, el propósito de este trabajo como el de ilustrar acerca de las sinergias entre el Pensamiento de Diseño y el Pensamiento Sistémico, al abordar “problemas perversos”.

1.2 Ilustración de la sinergia entre las dos maneras de pensamiento.

El autor del presente trabajo consideró que debe enfocarse inicialmente en la descripción y características de lo que constituye un problema

perverso. Luego se abocará a presentar al Pensamiento de Diseño (el que abarca al Pensamiento Integrativo), marcando las diferencias y similitudes con el Pensamiento Sistémico, para luego concluir con una ilustración de la sinergia entre ellos.

1.3 Antecedentes

En algunos trabajos sobre el abordaje de problemas perversos en el área de salud, se puede observar un diagrama bastante similar al de acumuladores y flujos.

Sin embargo, no es habitual encontrar integraciones de pensamiento explícitamente publicadas que integren al Pensamiento de Diseño con el Pensamiento Dinámico-sistémico.

El autor del presente trabajo ha realizado diversas integraciones metodológicas generales con pensamiento sistémico: Prospectiva, Enfoque Appreciativo, Diagrama de las Fuerzas de Porter, Coaching, entre otras.

2. PROBLEMAS PERVERSOS

También llamados “wicked problems”, este tipo de problemas es cada vez más habitual cuando nos movemos en una escala con impactos socio-económico-ambientales.

Son muy difíciles de formular específicamente, como ya veremos al enumerar sus características.

2.1 Ejemplos de problemas perversos

Estos son algunos ejemplos de problemas perversos:

Diseño de un nuevo artefacto electrodoméstico.

Abordar mejoras en los impactos debidos al calentamiento global.

Solucionar la brecha digital y de distribución de la riqueza.

Posicionar una nueva autopista.

Definir una política nacional de inmigración.

¿Cómo hacer emerger una democracia desde el corazón mismo de un régimen autoritario?

Todos ellos exigen la participación de personas con diferentes roles y saberes. Y dependen mucho de la perspectiva de cada uno de ellos. Por eso mismo son muy difíciles de identificar, estructurar y formular.

2.2 Características de los problemas perversos

Rittel y Webber [1] enumeran 10 características de este tipo de problemas.

“1. No hay una formulación definitiva de un problema perverso”.

Esto impide identificar una estructura causal subyacente única, excluyendo la utilización de herramientas del pensamiento sistémico en estado puro.

“2. No hay reglas de finalización de la intervención en los problemas perversos”.

No hay solución, en el sentido clásico, a los problemas perversos. Las brechas entre lo deseado y lo real son permanentes y emergentes.

“3. Las soluciones a los problemas perversos no son ‘lo logramos o no lo logramos’, sino ‘llegamos a un estado mejor o peor al anterior’”. Y además, dependen del contexto y de la perspectiva de los diferentes incumbentes.

“4. No hay pruebas inmediatas o no inmediatas que se puedan someter a una solución a un problema perverso”.

Esto se debe a que cada solución reverberará en consecuencias que se desplegarán a través del tiempo, impidiendo evaluar aisladamente la efectividad de la iniciativa seleccionada para intervenir.

“5. Cada solución a un problema perverso es una operación de única vez, ya que no hay oportunidad de aprender por prueba y error, dadas las condiciones en las que se implementa cada solución.”

“6. No existe un conjunto de soluciones potenciales a un problema perverso, ni tampoco un conjunto de herramientas u operaciones que puedan ser incorporadas al plan”.

No hay plan para este tipo de problemas, se trabaja e incorpora elementos según se va definiendo en el devenir del diseño del espacio de soluciones.

“7. Cada problema perverso es esencialmente único”.

Porque depende del contexto y de las percepciones de los incumbentes, todos los cuales pueden ser cambiantes a través del tiempo.

“8. Cada problema perverso puede ser considerado como el síntoma de otro problema perverso”.

Es más que probable que en un dominio determinado, y ante el hecho de no existir soluciones completas, los problemas perversos se sucedan unos a otros en el tiempo, siendo uno de ellos el responsable de la emergencia del siguiente, ad infinitum.

“9. Las causas de un problema perverso pueden ser explicadas de numerosas maneras. La elección de la explicación determina la naturaleza de la resolución del problema”.

Lo difícil es fijar las causas en el tiempo, dificultando sobremanera realizar un análisis causal exhaustivo.

“10. Con los problemas perversos, quien lo aborda no tiene el derecho de estar equivocado”.

En el análisis científico, se impulsa la formulación de hipótesis, las que pueden probarse como ciertas o no. Al abordar problemas perversos, quien lo realiza solo apunta a mejorar la situación, por lo que debe responsabilizarse por el impacto de su solución.

2.3 ¿Por qué los abordajes tradicionales de resolución de problemas no son eficaces para abordar problemas perversos?

Porque los problemas perversos no son fácilmente definibles ni tampoco son solucionables,

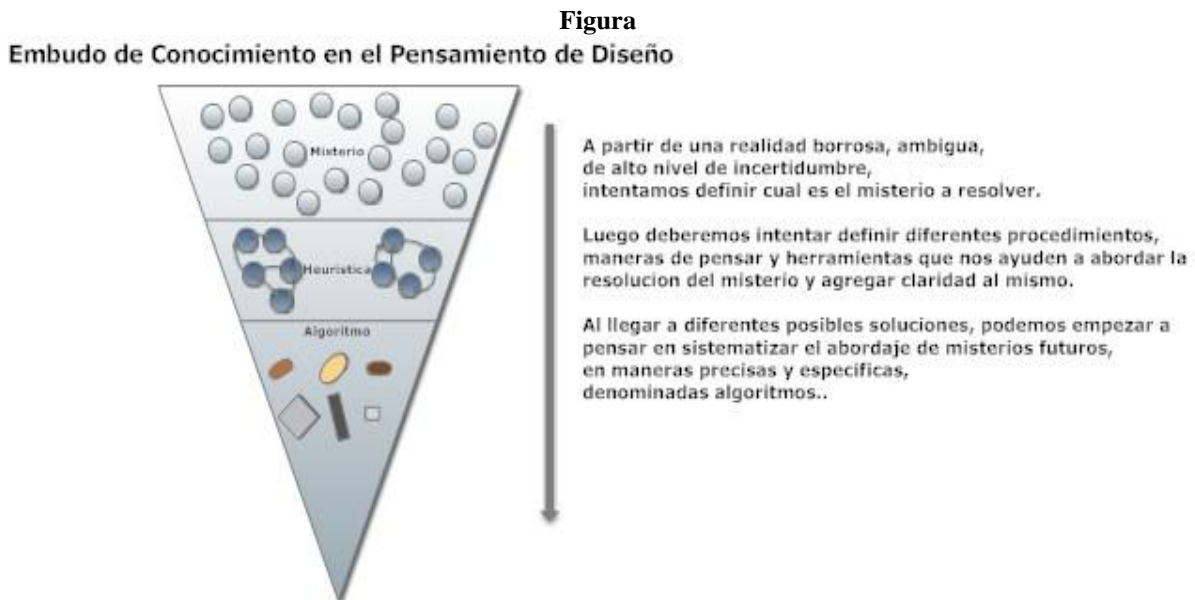
simplemente se busca lograr un estado actual que resulte mejor que el anterior, mas no se busca diseñar intervenciones que modifiquen la estructura, ya que ni siquiera hay consenso acerca de la estructura subyacente, por estar involucrados incumbentes de múltiples y diferentes perspectivas.

3. EL PENSAMIENTO DE DISEÑO [2]

3.1 Definición y pasos

El pensamiento de diseño propone integrar la manera de pensar que tiene un diseñador, a los asuntos complejos que suelen desafiar a las empresas.

Esta manera de pensar sigue la búsqueda de un cierto misterio o enigma a resolver, luego una heurística de abordaje, luego un algoritmo que sistematice la heurística para problemas similares, para finalmente terminar con la construcción de un software que automatice este proceso. Ver Figura 1.



1

FIG. 1

El pensamiento sistémico también aporta a estas fases, especialmente en la heurística, enriqueciéndola con herramientas tales como los arquetipos sistémicos, los diagramas causales, entre otros; y en los algoritmos, al especificarse los diagramas causales, convirtiéndolos en modelos de simulación, los que podrán servir para evaluar los diferentes

prototipos causales que se propongan en la etapa anterior.

No todas estas fases podrán ser aplicadas al abordar problemas perversos, pero se ha tratado de definir el pensamiento de diseño en particular.

3.2 Pensamiento integrativo

El pensamiento de diseño implica abrazar y utilizar el pensamiento integrativo, que descarta el análisis “esto o lo otro”, para apuntar hacia la definición de una solución creativa de “esto y lo otro”.

3.2.1 Pasos del proceso del pensamiento integrativo [3]

Saliencia

Es apreciar una mayor cantidad de atributos al observar un problema perverso, que la que estamos acostumbrados al observar uno de estos problemas en un abordaje analítico.

Causalidad

Se considera la causalidad multi-direccional y no lineal entre variables. Luego se verá que el

pensamiento sistémico puede ser de gran utilidad en esta fase.

Secuencia

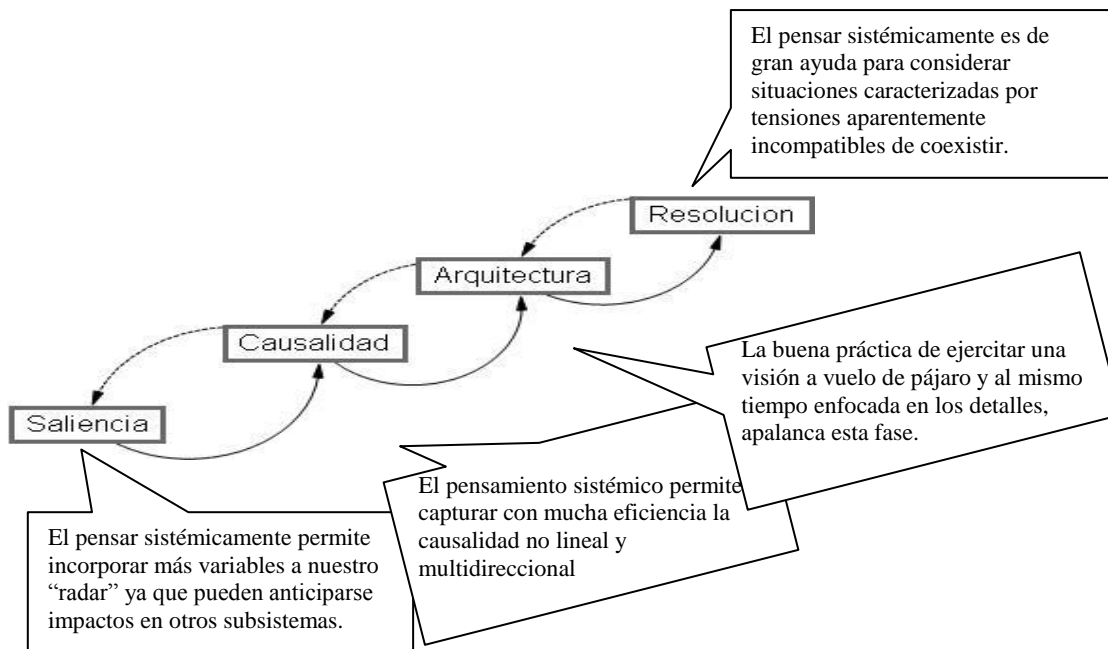
Se va trabajando en cada uno de los subsistemas pero sin dejar de visualizar al sistema total.

Resolución

Se busca una resolución creativa a la tensión generada por la presencia de opciones aparentemente contrapuestas y mutuamente excluyentes. Se privilegia el Y al O.

En la Figura 2, la que ilustra este proceso, y cómo el pensamiento sistémico puede contribuir a la implementación del mismo.

Figura 2 El pensamiento sistémico agrega valor al proceso del pensamiento integrativo



En la fase de saliencia, es fundamental la habilidad – la que naturalmente se despliega en el pensamiento dinámico-sistémico– de expandir los límites del sistema de manera tal de considerar el comportamiento generado endógenamente. Ayuda a dejar de lado el enfoque del sistema abierto, con input, proceso y output, para pasar a considerar al sistema como un conjunto de partes interdependientes con un cierto propósito y generación endógena de su comportamiento.

En la fase de Causalidad del Pensamiento Integrativo, el Pensamiento Sistémico ayuda a expresar de

manera conceptual y visual cómo son esas relaciones causales exploradas e identificadas por el equipo de trabajo al abordar el asunto complejo.

En la fase de Arquitectura, donde tener una visión de conjunto y a la vez hacer foco en los detalles es fundamental, el pensamiento sistémico provee un entrenamiento para acercar y alejar el foco de análisis, permitiendo variar el nivel de agregación de sus variables y modelos.

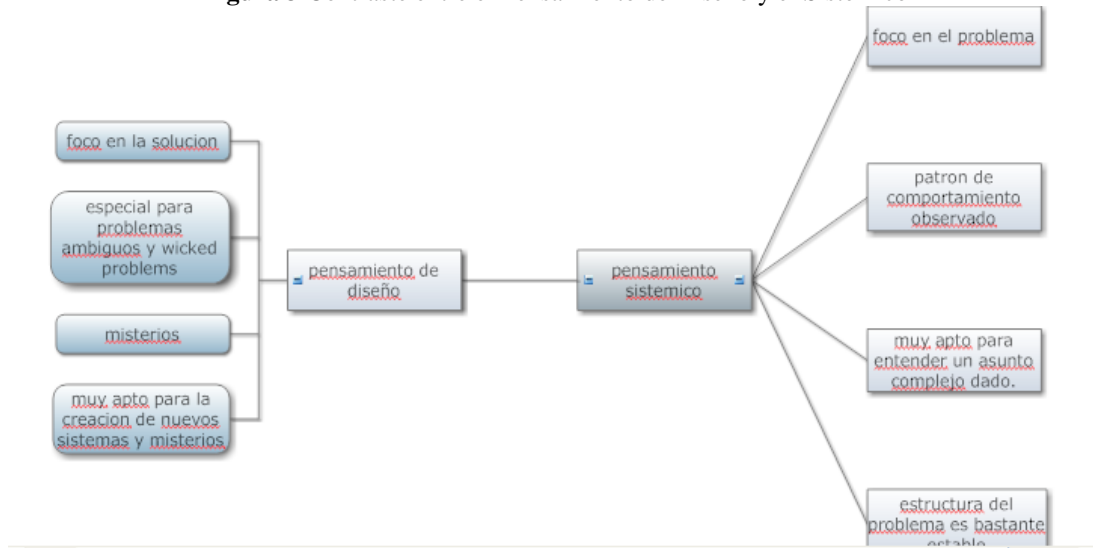
En la fase de resolución, el Pensamiento Sistémico permitirá realizar análisis de impactos al proponer diferentes iniciativas integrativas, proporcionando

retroalimentación de cuan apropiadas son esas integraciones.

4. CONTRASTE ENTRE PENSAMIENTO DE DISEÑO Y PENSAMIENTO SISTÉMICO

En la Figura 3 se puede ver un mapa mental contrastando las principales características distintivas de los dos tipos de pensamiento. Es de resaltar que ambos tipos de pensamiento se complementan y sinergizan, según lo propone el autor del presente trabajo.

Figura 3 Contraste entre el Pensamiento de Diseño y el Sistémico



En el mapa mental de esta figura se ponen de manifiesto las principales características del pensamiento de diseño y del pensamiento sistémico. En el mismo se destaca el diferente foco que tiene el pensamiento de diseño, el cual se enfoca en el espacio de soluciones. En cambio el pensamiento sistémico tiene foco en la descripción, formulación y estructuración del problema, intentando dilucidar cuál es la estructura causal que genera el comportamiento preocupante, caracterizado por el así llamado modo de referencia.

Otra diferencia es que en el caso del pensamiento sistémico se parte de un comportamiento observado, en cambio en el pensamiento de diseño muchas veces se parte desde una hoja en blanco.

El pensamiento de diseño intenta definir cuál es el misterio a crear, en cambio el pensamiento sistémico es muy práctico para entender qué es lo que está pasando, y dar ayuda al proceso de toma de decisiones.

5. APORTE DEL PENSAMIENTO DE DISEÑO AL PENSAMIENTO SISTEMICO

El pensamiento de diseño puede aportar interesante valor agregado para abordar problemas perversos, en los cuales el Pensamiento Sistémico se encuentra limitado.

Al concentrarse inicialmente en el espacio de solución, el Pensamiento Sistémico puede recoger el guante una vez que el Pensamiento de Diseño ha trabajado, ayudando a la formulación y estructuración del espacio de la solución y también a la estructura causal que será capaz de generarla.

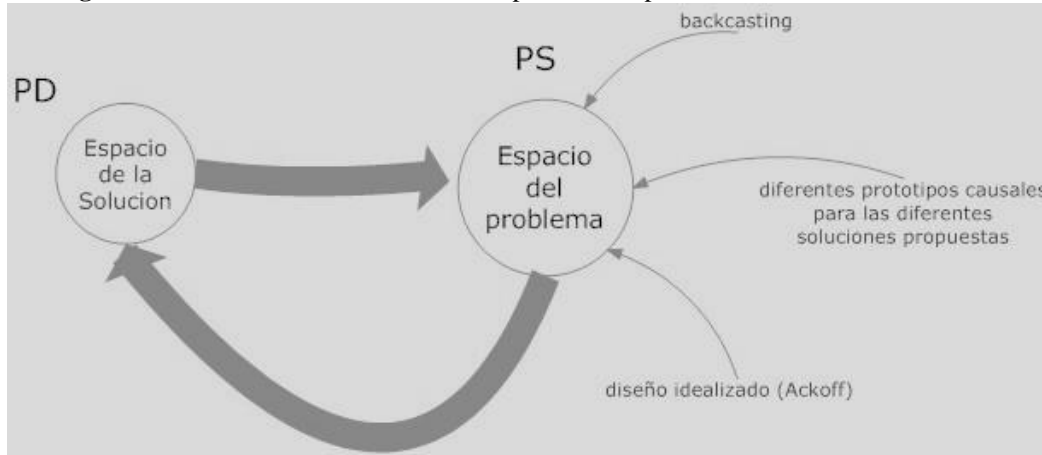
Esta es una manera de trabajar en lo que se denomina backcasting (en oposición al forecasting) donde se parte del estado deseado para luego determinar qué es lo que debería hacerse en el presente para lograr lo deseado en el futuro. También aparece el concepto de Diseño Idealizado [5]. El pensamiento de Diseño serviría como ancla para definir el espacio de soluciones, permitiendo al Pensamiento Sistémico actuar más tranquilo en el proceso de backcasting. Más detalles, en Figura 4.

Existe cierto tipo de problemas, con alto nivel de incertidumbre, en los cuales encontrar una estructura causal estable no es del todo posible, resultando el pensamiento de diseño muy útil para comenzar con la idealización del espacio de soluciones. Esto nos permitiría generar un modo de referencia deseado, lo cual habilitaría a construir luego diferentes prototipos de estructuras casuales con la capacidad de generarlo. Este proceso es conocido también como backcasting,

en contraste al forecasting. En los problemas denominados wicked problemas, el trabajar primero en el espacio de solución es un requerimiento, para lo cual contar con una integración metodológica que

incluya al pensamiento de diseño es más que conveniente.

Figura 4 Pensamiento de Diseño como disparador de aportes del Pensamiento Sistémico



6. APORTE DEL PENSAMIENTO SISTÉMICO AL PENSAMIENTO DE DISEÑO

En el Pensamiento de Diseño se describe el así llamado sistema personal de conocimiento, el cual consta de tres partes. A continuación se nombrará y se detallará cómo el pensamiento sistémico puede ayudar a enriquecerlo.

En primer término contamos con la actitud al abordar el desafío/misterio. En el mismo se podrán observar una ingenuidad, una inspiración creativa, una apertura mental, todas estas características del Pensamiento de Diseño. El Pensamiento Sistémico le dará una mirada complementaria y fortalecedora de la

actitud, mejorándola integralmente. Sabemos además que el Pensamiento de Diseño, al igual que el diseño, son sistémicos, por lo que el Pensamiento Sistémico es más que indicado para ayudar a mejorarlo.

Luego contamos con el bagaje de herramientas que se utilizan en el Pensamiento de Diseño, tales como las maquetas, torbellino de ideas, creatividad, etc. El Pensamiento Sistémico puede aportar diversas herramientas que apuntan no solo a lo diagramático-creativo sino a un mayor rigor descriptivo en el caso de estar diseñando, por ejemplo, sistemas sociales.

Este agregado de valor puede apreciarse en la Fig. 5.

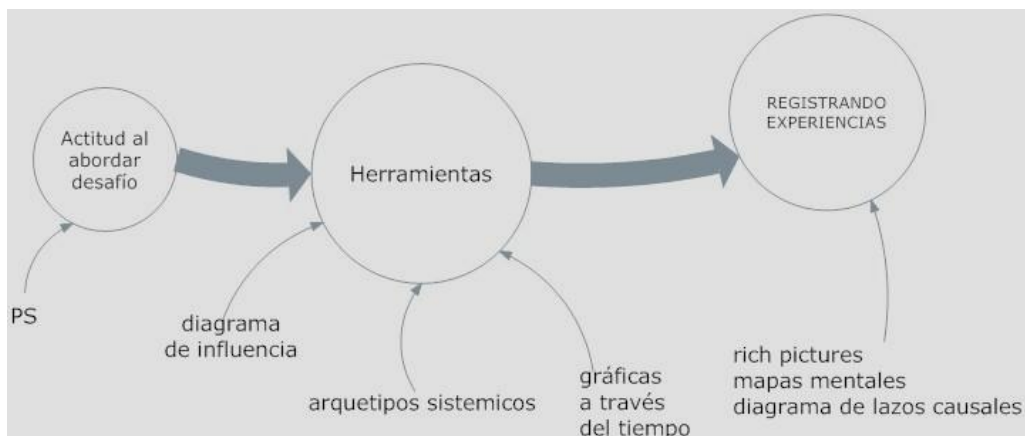


Figura 5 Sistema personal de conocimiento del Pensamiento de Diseño, enriquecido por el Pensamiento Sistémico

7. CONCLUSIONES

El valor de la innovación por intersección de dominios fue ampliamente explorado por Johansson en [4].

El autor del presente trabajo ha presentado una nueva intersección que permite diseñar poderosas intervenciones frente a situaciones muy difíciles de abordar con una única manera de pensar.

En un caso se ha presentado al Pensamiento de Diseño y al integrativo, que con el Pensamiento Sistémico encuentran un cable a tierra que permite realizar aquellas partes del diseño de intervenciones que necesitan de herramientas para visualizar la causalidad y trabajar en el espacio del problema.

8. OPORTUNIDADES FUTURAS

El autor identifica diversas oportunidades futuras:
Continuar explorando el valor que el Pensamiento Sistémico puede agregar a otras metodologías.
Continuar realizando trabajos académicos donde se integre el Pensamiento Sistémico a otras maneras de pensamiento.
Abordar casos concretos aplicando lo expuesto en el presente trabajo.

9. REFERENCIAS

[1] RITTEL, H., and WEBBER, M. (1973). "Dilemmas in a General Theory of Planning". *Policy Sciences*, Vol. 4, pp 155-169. Elsevier Scientific Publishing Company, Inc: Amsterdam.

[2] MARTIN, R. (2009) *The design of business. Why design thinking is the next competitive advantage.* Harvard Business Press. Boston, MA. USA.

[3] MARTIN, R. (2009) *The opposable mind. Winning through integrative thinking.* Harvard Business Press. Boston, MA. USA. Softcover version.

[4] JOHANSSON, F. (2004). *The Medici Effect: Breakthrough Insights at the Intersection of Ideas, Concepts, and Cultures.* Harvard Business Press. Boston, MA. USA.

[5] ACKOFF, R. (2006). *Idealized Design: How to dissolve tomorrow's crisis... Today.* Wharton School Publishing, PA. USA.

10. AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo permanente del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, al facilitarme concurrir a los congresos latinoamericanos de Dinámica de Sistemas.

11. CURRÍCULUM

El Ing. Fabián Szulanski es director del Centro de Dinámica de Sistemas del Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

Análisis estructural: un apoyo para el modelado con Dinámica de Sistemas

Structural analysis: support for modeling with System Dynamics

Danny A. Quintero Posso, Ing.; Sandra M. López Muriel, PhD.

Grupo de investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática GIDATI – UPB
danny.quintero@upb.edu.co, sandra.lopez@upb.edu.co

Resumen: En este artículo se presenta una propuesta metodológica para identificación de variables y construcción del diagrama causal en Dinámica de Sistemas apoyado en el análisis estructural como una alternativa confiable que reduce la subjetividad en estas etapas del análisis de problemas. El artículo describe de manera genérica el proceso y luego lo aplica a modo de ejemplo al caso de la televisión digital interactiva en Medellín y su área metropolitana.

Palabras Clave: Análisis estructural, Dinámica de Sistemas, selección de variables, diagrama causal, MICMAC.

Abstract: this article proposes a method for identification of variables and construction of the causal diagram in system dynamics supported by structural analysis as a reliable alternative that reduces subjectivity in this phase of problem analysis. The article describes generically the process and then applies it as an example the case of interactive digital television in Medellín and its metropolitan area.

Keywords— Structural analysis, system dynamics, selecting variables, causal diagram, MICMAC

1. INTRODUCCIÓN

La Dinámica de Sistemas resulta útil en la toma de decisiones estratégicas, ya que facilita la comprensión de la complejidad de la estructura de un sistema [1], [2]. Esa complejidad reside principalmente en las relaciones que se presentan entre las variables que componen o describen un sistema.

En las metodologías que describen los procedimientos para la elaboración de modelos con Dinámica de Sistemas [2]-[4], no se profundiza en un método particular para la escogencia de variables ni

para la construcción de hipótesis dinámicas en las que se basa el diagrama que muestra las relaciones causales entre ellas; este asunto se deja prácticamente a discreción del investigador.

Aunque algunos autores que trabajan en la metodología de Dinámica de Sistemas coinciden en dar indicaciones muy generales para la caracterización inicial de un problema y abordar la selección de variables y la construcción del diagrama causal: discusiones con personas del entorno del sistema, complementado por información histórica, recopilación de datos, entrevistas y observación directa o la participación. [1]-[4].

En general los métodos empleados por los investigadores para el modelado de sistemas, al menos en las publicaciones encontradas, son principalmente metodologías que involucran la participación de expertos [5]-[12] o personas que están muy relacionadas con el problema particular analizado (*Group Model Building*) [13]-[24].

En algunos casos la participación de los expertos se articula mediante métodos de prospectiva, entre los más utilizados están el método Delphi y el método de análisis estructural.

El método Delphi consiste fundamentalmente en la realización de varias rondas de consulta a expertos para llegar a un consenso en los aspectos relevantes a incluir en el análisis o investigación, y se utiliza principalmente en la selección de las variables [25]-[28].

El método de análisis estructural parte de la reflexión colectiva de un grupo de expertos, quienes en primer lugar debaten para seleccionar y definir las variables que son parte del sistema, posteriormente evalúan la influencia directa que ejerce cada una de las variables sobre las demás y finalmente se procesan estas

interrelaciones mediante un software (MICMAC¹) especializado que ayuda en la escogencia de las variables esenciales para la evolución del sistema, como se describe en el numeral 2.1 [29]-[32].

Por otra parte, se ha encontrado que en otros casos las variables y los diagramas causales simplemente se obtienen a partir de fuentes secundarias, (publicaciones, datos históricos, estadísticas, etc.) o modelos existentes [5], [33]-[53].

El análisis estructural facilita la visión sistémica de un problema y permite identificar de mejor manera las diferentes interrelaciones entre los factores que intervienen en el sistema que se analiza, puesto que el software MICMAC® entrega además un diagrama con las relaciones directas entre las variables analizadas, que aunque bastante confuso cuando hay muchas relaciones, en este artículo se propone como una primera base para descubrir los ciclos en el sistema. Godet y otros, precursores del método citan: *“Probablemente fue Jay Forrester, a través de sus trabajos sobre modelos de dinámicas industriales y luego, dinámicas urbanas (1961), quien dio origen a las primeras justificaciones del análisis estructural”* [54], lo que pone en evidencia los primeros indicios de la relación entre el análisis estructural y la Dinámica de Sistemas.

El presente artículo desarrolla en el numeral 2 la metodología empleada en la investigación para la selección de variables e identificación de las hipótesis dinámicas, como bases para la construcción del diagrama causal. En el numeral 3 se presenta un caso de estudio donde se aplica el análisis estructural al caso de la televisión digital interactiva en el área metropolitana de la ciudad de Medellín para la identificación de variables e interrelaciones entre variables. Finalmente, en el numeral 4 se entregan las conclusiones obtenidas del trabajo investigativo.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTA PARA LA SELECCIÓN DE VARIABLES Y CONSTRUCCIÓN DE DIAGRAMA CAUSAL EN DINÁMICA DE SISTEMAS

La selección de variables y la identificación de las interrelaciones existentes entre ellas, es un proceso fundamental para la comprensión de un sistema y es la base para la construcción de los modelos que lo

describen, aspectos que aborda claramente el análisis estructural, en el cual nos centraremos en este artículo.

2.1 Identificación y selección de variables

El análisis estructural de acuerdo con Godet et al. [29], [54] es una metodología apoyada por personas con experiencia demostrada en determinada área, los cuales participan en un proceso que consta de tres fases: Inventario de variables o factores; descripción de las relaciones entre variables y finalmente, la identificación de las variables esenciales para el comportamiento del sistema.

El inventario de variables debe ser muy exhaustivo de manera que se considere la mayor cantidad de factores que intervienen en el sistema. Este proceso se desarrolla a partir de reuniones, lluvias de ideas, fuentes secundarias, etc. Esta lista de variables debe ser homologada eliminando las que son redundantes, tienen el mismo significado o no son pertinentes al contexto analizado. Luego se realiza una detallada y consensuada descripción de cada una de las variables para que el significado de éstas sea igual a todos los miembros del grupo de trabajo [54].

Las variables obtenidas en la fase 1 se presentan en una matriz de doble entrada. Los expertos evalúan las influencias directas entre todas las variables de acuerdo con la intensidad de la afectación existente: fuerte (3), media (2), débil (1), nula (0) o potencial (P).

Cada experto califica las relaciones entre las variables según los criterios ya expuestos del análisis estructural, y posteriormente el software MICMAC®, mediante la iteración sucesiva de la matriz, calcula el grado de influencia y dependencia existente entre las variables. Como resultado de este cálculo, se pueden caracterizar las variables de acuerdo con la ubicación en un plano influencia y dependencia que entrega el software MICMAC como resultado (figura 1), en el cual se pueden identificar cuatro categorías asociadas a los cuadrantes que forman los ejes de influencia y dependencia [54]: variables de poder, variables de enlace, variables de respuesta y variables autónomas, las cuales se describen a continuación.

Variables de poder: estas variables son las que ejercen cierto grado de influencia sobre las demás variables, pero no dependen de ninguna otra, por lo que cualquier cambio en una de las variables de poder, se reflejará en las demás variables del sistema. Variables de enlace: Estas variables a pesar de ser influyentes en el sistema, ya poseen una dependencia

¹ MICMAC (Impact Matrix Cross- Reference Multiplication Applied to a Classification). Laboratoire d'innovation, de prospective stratégique et d'organization, LIPSOR.

de las variables de poder. Además estas variables presentan un comportamiento complejo e inestable dada la naturaleza altamente dependiente e influyente.

Variables de respuesta: Estas variables son las más sensibles al comportamiento de las variables de poder y de enlace. Son variables de salida del sistema.

Variables autónomas: Estas variables son poco influyentes y dependientes, por lo que tienden a descartarse del análisis, dado que los cambios que éstas tienen no afectan significativamente el sistema, sin embargo, la ubicación de estas variables en las cercanías a los ejes de influencia y dependencia pueden significar un efecto que se deba considerar.

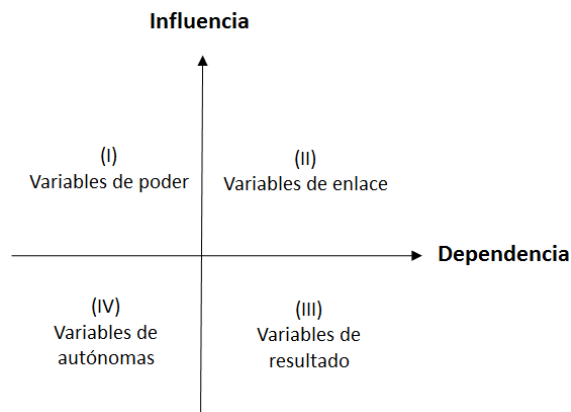


Figura 15. Plano influencia / dependencia
Fuente: (15)

La naturaleza de este método estimula la reflexión de los expertos en torno al problema analizado, incorporando aspectos cualitativos que son parte del mismo [54], lo cual permite una amplia y profunda cobertura de los diferentes factores involucrados en el sistema.

En contraste, la principal desventaja del método consiste, según la experiencia, en que cuando se tiene un número grande de variables, se requiere de largos tiempos de reunión con los expertos, asunto que no siempre es posible conseguir.

2.2 Hipótesis dinámicas (Diagrama Causal) basado en análisis estructural

Las interrelaciones entre las variables cumplen un papel vital dentro del sistema y su interpretación, dado que son estas relaciones las que definen la dinámica del sistema.

En este sentido, el software MICMAC permite visualizar las interrelaciones que existen entre las

variables del sistema, mediante el gráfico de influencias directas, (Ver figura 2), entregado como parte de los resultados del MICMAC, entrelazando las variables con flechas de diferentes tipos, que indican el nivel de influencia que ejerce una variable sobre otra y que refleja tanto las influencias directas como las indirectas.

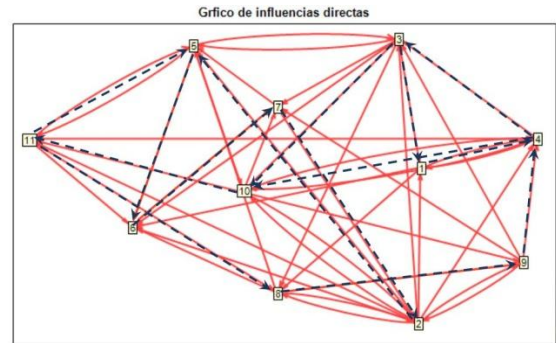


Figura 16. Gráfico genérico de influencias directas
Fuente: Resultados MICMAC®

Este gráfico es el punto de partida para la construcción del diagrama causal de Dinámica de Sistemas, a partir del cual se extraen las relaciones más fuertes que permitan una adecuada construcción del diagrama causal asociado.

Teniendo en cuenta que el análisis estructural recomienda incluir en la formulación de estrategias las variables de poder, de enlace y respuesta y descarta las variables autónomas.

El primer paso es identificar las relaciones fuertes entre esas variables y eliminar del diagrama las variables autónomas con sus respectivos enlaces. Cuando se hallan relaciones que son redundantes para afectar a las variables del sistema, éstas se simplifican representando esos efectos por medio de relaciones entre varias variables que conduzcan al mismo resultado de afectación entre las variables implicadas. Adicionalmente, se pueden reforzar o depurar otras interrelaciones existentes, considerando las relaciones más fuertes o significativas entre las variables más dinámicas del sistema, teniendo en cuenta las opiniones dadas por los expertos durante las reuniones previas, las fuentes secundarias y el conocimiento de quienes analizan el problema.

Además la transición del gráfico de influencias directas al diagrama causal, permite identificar de manera gradual los ciclos (*loops*) entre las variables, mostrando la estructura compleja del mismo y cuyo resultado permite observar la naturaleza dinámica del sistema.

Las influencias que se destacan en la figura 2 mediante flechas punteadas, describen la transición a un diagrama causal (figura 3) a partir del gráfico de influencias directas (+) que represente completamente la dinámica del sistema.

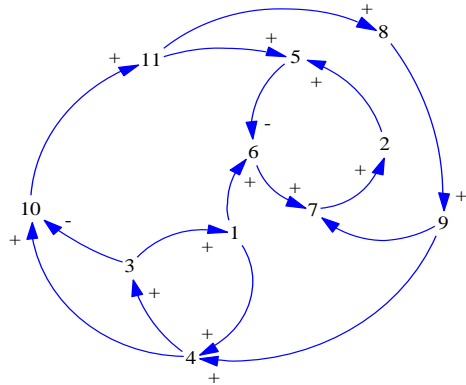


Figura 17. Esquema genérico de un diagrama causal
Fuente: Elaboración propia

Este proceso ofrece una ventaja al investigador, dado que permite conocer de antemano las relaciones más importantes entre las variables del sistema, por lo que se facilita el entendimiento del mismo y una más ágil construcción del diagrama causal asociado a dicho sistema.

El proceso de identificación de las relaciones entre las variables, algunas de ellas no tan evidentes a simple vista, es bastante útil para conocer la estructura del sistema, sustentado en el análisis de los expertos y la información disponible durante el proceso, garantizando de esta manera una solución confiable acorde con el objetivo planteado para el desarrollo del proceso (selección de variables y construcción del diagrama causal).

Como puede deducirse del procedimiento descrito, la idea central es ofrecer una alternativa que ayude a la selección de variables y la identificación de las principales interrelaciones existentes entre un conjunto de variables, de manera que sirva de apoyo en la construcción del diagrama causal para describir un sistema determinado, además de poner en relieve las bondades que ofrece el análisis estructural para lograr una adecuada y completa comprensión del sistema.

A continuación se presenta el caso de la televisión digital interactiva y su entrada en funcionamiento en la comunidad del área metropolitana de Medellín (Colombia).

3. CASO DE ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ESENCIALES Y CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA CAUSAL EN DINÁMICA DE SISTEMAS

Dado que Colombia está en proceso de transición de televisión análoga a televisión digital [55] y teniendo en cuenta que la televisión es el medio de mayor penetración en los hogares a nivel mundial: Europa occidental (95%) [56], Norteamérica (99%) [57], China (89%) [56], Suramérica (85%) [56]; Colombia (88%) [58] y específicamente para Medellín, el porcentaje de hogares con televisión es del (94%) sobre más de dos millones de habitantes [58]; entender el proceso de acceso y uso de la televisión digital, sus posibilidades de interactividad para Medellín y su área metropolitana, resulta de interés para comprender cómo la nueva tecnología puede impactar a la sociedad que la recibe, considerando los diversos factores que intervienen (técnicos, económicos, sociales, contenidos).

Especialmente lo relacionado con la interactividad, es de particular interés dado que es esta característica la llamada a cambiar el paradigma de pasividad respecto a la televisión convencional y puede significar una transformación en la forma como las personas participan e interactúan entre sí.

3.1 Selección de variables

Cómo se ha mencionado anteriormente, la selección de variables y construcción de hipótesis dinámicas constituyen un elemento fundamental para validar un modelo con Dinámica de Sistemas, dado que aumentan el grado de certeza de haber incluido de una forma menos sesgada, las variables y las interrelaciones entre ellas que afectan en mayor medida la dinámica del sistema.

Es por lo anterior que se trabajó conjuntamente con un grupo de expertos en diferentes áreas: Ingeniería, ciencias de la comunicación e innovación, pero que en su profesión están vinculados a temáticas asociadas a la televisión, para desarrollar el proceso de identificación, selección, evaluación y clasificación de variables que permita desarrollar un modelo causal para comprender mejor el comportamiento de los diferentes factores que componen el sistema, ante la entrada de la televisión digital interactiva.

Con el grupo de expertos se realizó el proceso de análisis estructural para la identificación, selección y evaluación de las variables.

En la figura 4 se puede observar que las variables de poder en el sistema son completamente diferentes para cada experto, se comparten algunas variables de respuesta entre el experto de tecnología y el experto en desarrollo, en cuanto a las variables autónomas hay coincidencia entre pares de expertos (tecnología-desarrollo, desarrollo-comunicación y tecnología-comunicación) y finalmente, sólo en algunas variables de enlace hay coincidencia para los tres expertos.

	Variables de Poder	Variables de Enlace	Variables Respuesta	Variables Autónomas
EXPERTO 1 (TECNOLOGÍA)	▲	■	■	■
EXPERTO 2 (DESARROLLO)	◆	■	■	■
EXPERTO 3 (COMUNICACIÓN)	●	■		■

Figura 18. Clasificación de variables, de acuerdo con el tipo de experto
Fuente: Elaboración propia

El resultado de la calificación individual de cada experto como puede verse en la figura 4, permite observar que hay una evaluación sesgada de acuerdo con la visión que le permite su disciplina y actividad, producto del reduccionismo que se aplica a la mayoría de las actividades del ser humano [59].

El análisis estructural lo que logra es un consenso de expertos que disminuye el reduccionismo, confrontando los modelos mentales individuales (figura 4), lo cual permite aumentar la probabilidad de éxito en la formulación de políticas y estrategias, que elaboradas de manera sistémica, permite una visión más completa e imparcial de los diferentes factores presentes en el sistema, además que se pueden brindar mejores posibilidades para la comprensión del sistema.

La valoración por consenso entre los expertos permite, mediante el proceso que se lleva a cabo en el software MICMAC, identificar el rol que cumplen las diferentes variables en relación con el proceso de acceso y uso de la televisión digital interactiva en el contexto analizado, observando en las variables el tipo de influencia o dependencia que ejercen sobre las demás variables del sistema, pero ahora con una mirada conjunta y consensuada del grupo de expertos sobre todos los factores del modelo del caso de la

televisión digital interactiva como se aprecia en la figura 5.

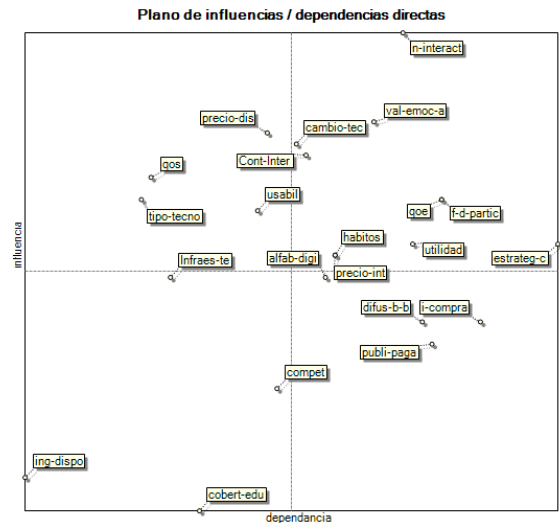


Figura 19. Plano de influencia/dependencia de variables - Caso de estudio iTV
Fuente: Resultados MICMAC®

La ubicación de las variables expuestas en la figura 5 permite clasificarlas en variables de poder, variables de enlace, variables respuesta y variables autónomas, tal como se describen a continuación:

- Variables de poder: QoS (Calidad del servicio), precio del dispositivo y tipo de tecnología.
- Variables de enlace: nivel de interactividad, cambio tecnológico, contenidos de interés, valores emocionales y afectivos, QoE (Calidad de la experiencia), formas de participación, precio de la interactividad, hábitos de uso, utilidad percibida, estrategias de comercialización.
- Variables resultado: alfabetización digital, difusión boca-boca, interés de compra, publicidad pagada.
- Variables autónomas: cobertura educativa, ingreso disponible, competencia, infraestructura tecnológica.

De acuerdo con su ubicación en el plano, del grupo de variables autónomas se descartaron para el modelo las variables: cobertura educativa e ingreso disponible, por su ubicación distante en el plano de la figura 5.

Posteriormente se obtiene el gráfico de influencias directas correspondiente a las interrelaciones existentes entre las variables del caso de estudio (figura 6).

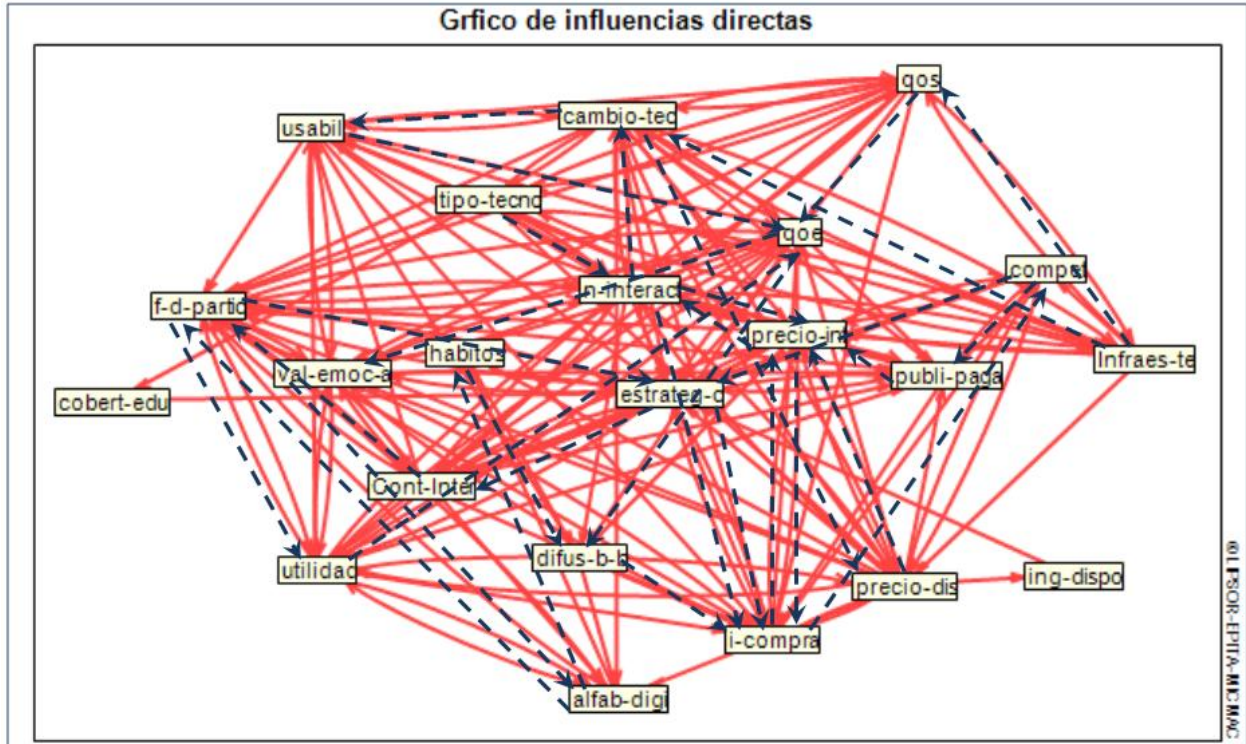


Figura 20. Gráfico de influencias directas - Caso de estudio iTV
Fuente: Elaboración propia a partir de resultados MICMAC®

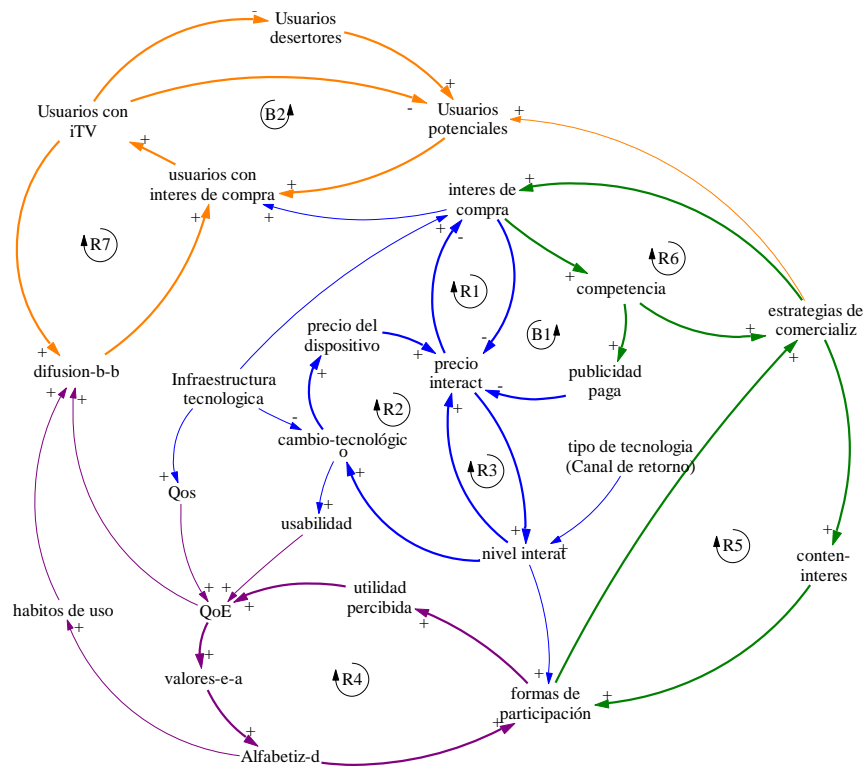


Figura 21. Diagrama causal caso de estudio
Fuente: Elaboración propia

A partir del gráfico de influencias directas, se realizó el análisis correspondiente a las relaciones que allí se presentan (flechas punteadas de la figura 6) siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 3.2, para construir el diagrama causal (figura 7) fundamentado en la opinión de los expertos consultados, el cual representa los procesos dinámicos asociados al acceso y uso de la televisión digital interactiva en el área metropolitana de la ciudad de Medellín.

El resultado obtenido del proceso de análisis del diagrama de influencias directas (figura 6) ilustra el comportamiento del sistema que relaciona los diversos factores asociados a la televisión digital interactiva, e involucra aspectos económicos, sociales y tecnológicos.

En el diagrama causal de la figura 7 se pueden observar unos bucles y ciclos de realimentación entre las variables, los que indican un comportamiento dinámico en el sistema, los cuales se describen a continuación.

Ciclo de refuerzo R1: está dado por la relación mutuamente negativa entre *interés de compra* y *precio de la interactividad*, el cual estará limitado por el comportamiento de los usuarios ante las condiciones de oferta y demanda del mercado.

Ciclo de refuerzo R2: relaciona las variables *precio de la interactividad*, *nivel de interactividad*, *cambio tecnológico* y *precio del dispositivo*, donde los cambios incrementales en una variable afectan positivamente en la siguiente, desencadenando más efectos positivos en las variables involucradas, el cual, a pesar de ser incremental, tendrá restricciones ante la evolución de la tecnología y el acceso a la misma.

Ciclo de refuerzo R3: relaciona las variables *precio de la interactividad*, *nivel de interactividad*, y de manera similar al ciclo R1, estará limitada a factores económicos.

Ciclo de refuerzo R4: está íntimamente relacionado con los aspectos subjetivos de los usuarios y su reacción ante la televisión digital interactiva. Relaciona: *formas de participación*, *utilidad percibida*, *calidad de la experiencia (QoE)*, *valores emocionales y afectivos* y *la alfabetización digital*.

Ciclo de refuerzo R5: en este ciclo se muestra la relación que guarda la oferta con la posibilidad de interacción que pueden alcanzar los usuarios de los servicios de la televisión digital interactiva, reforzando los efectos que ejerce una variable sobre

otra: *Estrategias de comercialización*, *contenidos de interés* y *formas de participación*.

Ciclo de refuerzo R6: Las variables que se relacionan en este ciclo de refuerzo: *interés de compra*, *estrategias de comercialización* y *competencia*, muestran las interrelaciones que se dan desde el punto de vista de la competencia que se puede dar en un mercado con múltiples oferentes de servicios interactivos.

Ciclo de refuerzo R7: pone en evidencia el efecto de refuerzo positivo (*difusión boca a boca*, *usuario con interés de compra*, *usuarios con iTV*) que se da entre los usuarios de un sistema para el acceso a un servicio mediante la comunicación de información de boca a boca.

Ciclo de balance B1: Las relaciones entre las variables (*competencia*, *publicidad paga*, *precio de la interactividad*, *interés de compra*) generan un efecto de estabilidad en el ciclo, gracias a la compensación que se genera por los efectos positivos y negativos que interactúan entre las variables involucradas.

Ciclo de balance B2: Las relaciones entre las variables (*usuarios potenciales*, *usuarios con interés de compra*, *usuarios con iTV* y *usuarios desertores*) tanto positivas como negativas, y la limitación física existente (cantidad de usuarios) genera que el ciclo alcance un punto de estabilidad al no tener más usuarios o se haya cubierto a los existentes.

Como se puede observar en el diagrama causal, el sistema es ampliamente dinámico y ofrece una visión amplia e incluyente de la televisión digital interactiva y los factores que son parte del sistema; concebido desde una mirada multidisciplinar mediante un análisis riguroso y exhaustivo de los diferentes factores involucrados.

4. CONCLUSIONES

La elección del método para la selección de variables e identificación de las hipótesis dinámicas, debe comenzar con un cuidadoso y riguroso análisis del problema, de manera que se consideren todos los factores que intervienen en su comportamiento y se reduzca el riesgo de cometer errores en su entendimiento, por lo que resulta destacable el resultado que se obtiene implementando el análisis estructural para la amplia y completa visión del problema.

El aporte de los expertos en el análisis estructural resulta bastante útil gracias al conocimiento que poseen de la situación o problema tratado, pero sobre todo al método de consenso al que se llega mediante una reflexión colectiva de la situación estudiada, lo cual genera suficiente confianza para tomar dichas apreciaciones con un alto grado de certeza y validez.

Las interrelaciones entre las variables que se presentan en el diagrama de influencias directas de MICMAC®, son bastante útiles para iniciar la construcción del diagrama causal, ya que permite identificar de manera directa las relaciones de causalidad entre variables, con la ventaja que dichas relaciones están sustentadas en el análisis de los expertos y la información disponible durante el proceso, brindando así un alto grado de confiabilidad al diagrama causal construido.

El proceso llevado a cabo mediante el análisis estructural, además de facilitar la selección de variables y la identificación de las hipótesis dinámicas, permite a partir del plano de influencia/dependencia, identificar las variables que dentro de la dinámica del sistema juegan un papel más importante, dado el efecto que sobre las demás variables del sistema puedan desencadenar ante un cambio en ellas. Facilitando al investigador dirigir las políticas y estrategias más convenientes en los puntos del sistema que pueden generar un mayor impacto.

Finalmente, la utilización de un método determinado para la selección e identificación de las hipótesis dinámicas, dependerá de los objetivos definidos para la investigación, el conocimiento de los investigadores y la información disponible, que permita dar una solución óptima al problema abordado.

5. AGRADECIMIENTOS

A Colciencias y al centro de excelencia ARTICA a través del Macroproyecto: Sistema experimental de televisión interactiva (s-itv) diseñado para dar soporte con énfasis inicial al foco de educación, Subproyecto 5: Investigación e innovación en contenido e interactividad para la sociedad de la información y el conocimiento y los investigadores partícipes del mismo así como a la Universidad Pontificia Bolivariana.

6. REFERENCIAS

- [1] FORRESTER, Jay. *Industrial Dynamics*. Cambridge: MIT Press, 1961.
- [2] STERMAN, John. *Business Dynamics, Systems thinking and modelling for a complex world*. Quebec: McGraw Hill, 2000. Pág. 86. 007238915X.
- [3] ARACIL, J. *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Madrid: Alianza Editorial, 1983. 8420680583.
- [4] *Strategic Modelling and Business Dynamics*. Strategic Modelling and Business Dynamics. Morecroft, John. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2007.
- [5] DUGGAN, J. *Statistical Thinking Tools for System Dynamics*. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA : s.n., 26-30 de July de 2009.
- [6] *Linking event thinking with structural thinking: methods to improve client value in projects*. Howick, S., Ackermann, F. y Andersen, D. 2, 2006, *System Dynamic Review*, Vol. 22, págs. 113-140.
- [7] *Group Model Building: Problem Structuring, Policy Simulation and Decision Support*. Andersen, D., y otros. 5, 2007, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58, págs. 691-694.
- [8] FOKKINGA, B., Bleijenbergh, I. y VENNIX, J. *Group model building evaluation in single cases: a method to assess changes in mental models*. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA: s.n., 26-30 de July de 2009.
- [9] GORDON, T. *The Delphi Method*. Millennium Project, Futures Research Methodology. Washington: The United Nations University, 2003, págs. 1-30.
- [10] ZARTHA, J., VÉLEZ, G. y HERRERA, J. *Diseño de un modelo para la evaluación del comportamiento del consumo de carne bovina usando Dinámica de Sistemas, s.l.: Universidad del Cauca, 2007, Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, Vol. 5, págs. 118-125. 1692-3561.*
- [11] GODET, M., y otros, 2000. *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. Problemas y métodos, Cuaderno 5, Prospektiker Futuribles, UNESCO, España.*
- [12] LÓPEZ, S., y otros. *Modeling access to information and communication technology (ICT) for assessing a penetration policy*. The

- 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece: s.n., 20-24 de July de 2008.
- [13] TAN, B., y otros. Evaluating system dynamics models of risky projects using decision trees: alternative energy projects as an illustrative example. 1, 2010, System Dynamic Review, Vol. 26, págs. 1-17.
- [14] KOPAINSKY, B. y Derwisch, S. Model-based exploration of strategies for fostering adoption of improved seed in West Africa. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA: s.n., 26-30 de July de 2009.
- [15] GODET, M., y otros. Structural analysis with the Micmac Method & Actors' Strategy with Mactor Method. Whashington D.C.: A.M. Methodology, 2002.
- [16] Comisión Nacional de Televisión. Colombia ya tiene estándar de televisión digital terrestre: el europeo. [En línea] 28 de agosto de 2008. [Citado el: 13 de julio de 2010.] http://www.cntv.org.co/cntv_bop/noticias/2008/agosto/28_08_08.html.
- [17] International Telecommunication Union. Yearbook of statistics - Telecommunication Services - 1997-2006. Geneva: International Telecommunication Union, 2008. 92-61-12401-1.
- [18] US Census Bureau. Table 1105. Cable and Premium TV—Summary: 1980 to 2008. [En línea] 2008. [Citado el: 4 de julio de 2010.] <http://www.census.gov/compendia/statab/2010/tables/10s1105.pdf>.
- [19] DANE. Indicadores básicos de tecnologías de la información y la comunicación TIC. Encuesta de calidad de vida 2003-2008. [En línea] 25 de Marzo de 2009. [Citado el: 15 de agosto de 2009.] http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/tic/boletines_tic_09.pdf.
- [20] ROSENTHAL, M. y LUDIN, P. Diccionario Filosófico. Cuba: Editora Política, 1984.
- [21] ABAUNZA, F. y Arango, S. A system dynamics model for the world coffee market. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA: s.n., 26-30 de July de 2009.
- [22] . ANDERSEN, D., RICHARDSON, G. y VENNIX, J. Group model building: adding more science to the craft 2, 1997, System Dynamic Review, Vol. 13, págs. 187-201.
- [23] Scripts for group model building. Andersen, D. y Richardson, G. 2, 1997, System Dynamics Review, Vol. 13, págs. 107-129.
- [24] ASTIGARRAGA, E. El método Delphi. Prospectiva. [En línea] 3 de marzo de 2004. [Citado el: 3 de mayo de 2010.] <http://www.prospectiva.eu/curso-prospectiva>.
- [25] BIRDSEYE, H. Application of system dynamics to corporate strategy: an evolution of issues and frameworks. 2007, System Dynamic Review, Vol. 23, págs. 137-156.
- [26] Empleo de la referenciación y el método micmac en la definición de estrategia individual y colectiva. Aplicación a las pymes del plástico de Cali, Colombia. Cano, C. 2004, Ingeniería Industrial, (Ing. Ind.), Vol. 25, págs. 43-53. 0258-5960.
- [27] CAPELO, C. y FERREIRA, J. A system dynamics-based simulation experiment for testing mental model and performance effects of using the balanced scorecard. 2009, System Dynamic Review, Vol. 25, págs. 1-34.
- [28] CAVANA, R. y CLIFFORD, L. Demonstrating the utility of system dynamics for public policy analysis in New Zealand: case of excise tax policy on tobacco. Cavana, R. y Clifford, L. 2006, System Dynamics Review, Vol. 22, págs. 321-348.
- [29] CAVANA, R. y MARES, E. Integrating critical thinking and systems thinking: from premises to causal loops. 3, 2004, System Dynamics Review, Vol. 20, págs. 223-235.
- [30] CROSON, R. y DONOHUE, K. Upstream versus downstream information and its impact on the bullwhip effect 3, 2005, System Dynamic Review, Vol. 21, págs. 249-260.
- [31] CRUZ, J. y OLAYA, C. A system dynamics model for studying the structure of network marketing organizations. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece: s.n., 20-24 de July de 2008.
- [32] DEMIREZEN, E. y BARLAS, Y. A simulation model for bloodcholesterol dynamics and related disorders. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA: s.n., 26-30 de July de 2009.

- [33] Group model-building: tackling messy problems. Vennix, J. 4, 2000, System Dynamics Review, Vol. 15, págs. 379-401.
- [34] TAYLOR, T., FORD, D. y FORD, A. Improving model understanding using statistical screening. 1, 2009, System Dynamic Review, Vol. 26, págs. 73-87.
- [35] STEPHENS, C., GRAHAM, A. and LYNEIS, J. System dynamics modeling in the legal arena: meeting the challenges of expert witness admissibility. 2, 2005, System Dynamics Review, Vol. 21, págs. 95-122.
- [36] SLISKOVIC, M., MUNITIC, A. and JELIC-MRCELIC, G. Influence of variable catch factors on sardine population level in eastern Adriatic tested by System Dynamics. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece: s.n., 24 de July de 2008.
- [37] ROUWETTE, E., HOPPENBROUWERS, S. Collaborative systems modeling and group model building: a useful combination. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece: s.n., 20-24 de July de 2008.
- [38] VENNIX, E. J. Y MULLEKOM, T. Group model building effectiveness: a review of assessment studies. Rouwette, 1, 2002, System Dynamic Review, Vol. 18, págs. 5-45.
- [39] RICH, K. An interregional system dynamics model of animal disease control: applications to foot-and-mouth disease in the Southern Cone of South America. 1, 2008, System Dynamics Review, Vol. 24, págs. 67-96.
- [40] OTTO, P. y STRUBEN, J. Gloucester Fishery: insights from a group modeling intervention. 4, 2004, System Dynamics Review, Vol. 20, págs. 287-312.
- [41] MÜLLER, M. y ULLI-BEER, S. Modeling the Diusion dynamics of a new Renovation Concept. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece: s.n., 20-24 de July de 2008.
- [42] MILSTEIN, B., HOMER, J. and HIRSCH, G. Analyzing National Health Reform Strategies With a Dynamic Simulation Model. 5, 2010, American Journal of Public Health, Vol. 100.
- [43] VAROUTAS, C. D. and SPHICOPOULOS, T. Diffusion models of mobile telephony in Greece. Michalakelis, 2008, Telecommunications Policy, Vol. 32, págs. 234-245.
- [44] MENACA, C., PRIETO, S. Y MENA, A. Aplicación de la Dinámica de Sistemas al modelado y simulación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad de Cartagena de Indias. 2009, Latinoamérica, una comunidad que aprende Dinámica de Sistemas y con Dinámica de Sistemas. 978-958-44-5902-2.
- [45] . MEADOWS, D. y ROBINSON, J. The electronic oracle: computer models and social decisions 2, 2002, System Dynamic Review, Vol. 18, págs. 271-308.
- [46] New product diffusion models in innovation management - a system dynamics perspective. Maier, F. 4, 1999, System Dynamics Review, Vol. 14, págs. 285-308.
- [47] . LYNEIS, J. System dynamics for market forecasting and structural analysis 1, 2000, System Dynamics Review, Vol. 16, págs. 3-25.
- [48] LYCHKINA, N. y SHULTS, D. Simulation modeling of regions social and economic development in decision support systems. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. New Mexico, Albuquerque, USA: s.n., 26-30 de July de 2009.
- [49] . LUNA-REYES, L., MARTÍNEZ-MOYANO, I., y otros. Anatomy of a group model-building intervention: building dynamic theory from case study research. 2006, System Dynamics Review, Vol. 22, págs. 291-320.
- [50] LUNA-REYES, L. y ANDERSEN, D. Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: methods and models. 4, 2004, System Dynamic Review, Vol. 19, págs. 271-296.
- [51] In search of a mental model-like concept for group-level modeling. Kim, H. 3, 2009, System Dynamic Review, Vol. 25, págs. 207-223.
- [52] KHAN, N. y MCLUCAS, A. A Case Study in Application of Vee Model of Systems Engineering to System Dynamics Modelling of Dryland Salinity in Australia. The 2008 International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece: s.n., 2-24 de July de 2008.
- [53] KARIMI, N. y HALEEM, A. Indian Implementation of Alternative Refrigerant Technology: A Dynamic Analysis. 2007, Global

- Journal of Flexible Systems Management, Vol. 3, págs. 39-48.
- [54] HARBICH, T. y MATHEUS, K. Business Dynamics Model for Market Acceptance Considering Individual Adoption Barriers. The 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA: s.n., 26-30 de July de 2009.
- [55] FORD, D. y STERMAN, J. Expert knowledge elicitation to improve formal and mental models 4, 1998, System Dynamics Review, Vol. 14, págs. 309-340.
- [56] FLÉTSCHER, L. y GALLÓN, L. Modelo del mercado de acceso banda ancha al servicio de internet residencial en Colombia: una aproximación desde la Dinámica de Sistemas. 7, 2009, Revista Educación en Ingeniería, págs. 84-97.
- [57] FAUST, L., y otros. Models for management of wildlife populations: lessons from spectacled bears in zoos and grizzly bears in Yellowstone. 2, 2004, System Dynamics Review, Vol. 20, págs. 163-178.
- [58] ERDIL, N. Simulation modeling of electronic health records adoption in the U.S. healthcare system. The 27th international conference of the system dynamics society. Albuquerque, New Mexico, USA: s.n., 26-30 de July de 2009.
- [59] A basis for understanding fishery management dynamics. Dudley, R. 2008, System Dynamic Review, Vol. 24, págs. 1-29.

Hacia una metodología de la investigación sistémica

Towards a systemic research methodology

Luz Marina Franco M., Esp., Rubén Darío Echeverri E., MSc.

Docentes Instituto Tecnológico Metropolitano y Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
franluzma@hotmail.com y echeverub@hotmail.com

Resumen: Los textos de metodología de la investigación que se utilizan en las universidades tienen en la mayoría de los casos una clara orientación hacia el método científico experimental. Se plantea en este artículo la necesidad de crear textos de metodología de investigación relacionados con la Dinámica de Sistemas y Dinámica de Sistemas para que los estudiantes, futuros investigadores, tengan una visión amplia sobre alternativas metodológicas de investigación. Para ello se aborda el tema de la causalidad lineal propia del método científico experimental y se propone la causalidad circular y el diagrama de lazos causales como alternativas sistémicas de investigación.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, sistémica, causalidad lineal, causalidad circular, diagrama de lazos causales, método científico, método sistémico.

Abstract: The methodology used in universities research texts have in most cases a clear orientation towards the experimental scientific method. He is this article need to create research methodology texts related to the dynamics of systems and system dynamics that students, future researchers have a broad view on methodological alternatives research. This addresses the issue of the experimental scientific method's own linear causality and proposes circular causation and causal links as systemic alternatives research diagram.

Key words: Systemic systems, dynamic, linear causality, circular causality, diagram of causal links, scientific method, systemic method.

1. INTRODUCCIÓN

Para desarrollar esta ponencia tenemos dos objetivos: discutir las implicaciones de incluir el tema de la Dinámica de Sistemas dentro de la metodología de la investigación a nivel de texto universitario. Para

desarrollar el objetivo partimos de la presentación y discusión sobre el principio de causalidad, tan ampliamente utilizado en el método científico. A partir de la presentación y discusión del principio de causalidad lineal presentamos la visión sistémica del principio de causalidad sistémico o circular.

El principio de causalidad circular nos permite, en una tercera parte del documento, presentar el diagrama de lazos causales como una alternativa de investigación frente al método lineal propuesto por el método científico.

2. EL PRINCIPIO DE CAUSALIDAD LINEAL Y LA INVESTIGACIÓN

La gran mayoría de los textos de metodología de la investigación que reposan en las bibliotecas de las universidades del país toman como punto de partida para la investigación experimental el principio de causalidad. Sin temor a equivocarnos podemos afirmar que la investigación experimental tradicional está fundamentada en el principio de causalidad. De hecho con base en este principio se plantea la existencia de los conceptos de variables independientes y de variables dependientes, que son el fundamento básico de la investigación experimental. Por eso es importante que discutamos las relaciones entre el principio de causalidad y la definición de variables dentro de este contexto

El principio de causalidad se expresa en la práctica en la famosa ley de causa y efecto (Echeverri y Franco, 2005). La descripción de esta ley se puede plantear en estos términos:

- ⊙ Toda causa tiene un efecto
- ⊙ Todo efecto tiene una causa
- ⊙ Todo principio tiene un fin
- ⊙ Entre la causa y el efecto hay sucesión

- ⊙ La causa y el efecto están separadas en el tiempo

La ley de causa y efecto descrita de esta forma está sustentada en el principio de causalidad lineal, lo cual se puede representar de la siguiente forma (Ver Figura No. 1):

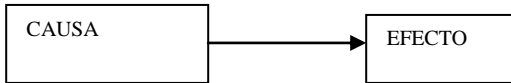


Figura 1: Causalidad lineal

Con base al mismo principio, causalidad lineal, los métodos de investigación experimental han definido lo que conocemos como antecedente (causa) y consecuente (efecto), o lo que más ampliamente hemos llamado la variable independiente (causa) y variable dependiente (efecto). Dentro del contexto de la investigación experimental la variable independiente es la variable que el investigador manipula y la variable dependiente es la variable sobre la cual se miden los efectos de la primera.

Lo anterior se entiende mejor si colocamos un ejemplo sencillo. Supongamos que un investigador está interesado en evaluar el grado de respuesta en producción de rábano de diferentes cantidades de un fertilizante (Ver Figura No. 2). Con base en este ejemplo podemos definir la variable independiente y la variable dependiente:

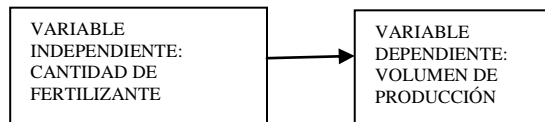


Figura 2: Relación lineal entre variables independiente y dependiente

La variable independiente que manipula el investigador es cantidad de fertilizante, ya que el mismo es el que decide con qué cantidades va a desarrollar la investigación. Por otro lado, la variable dependiente es el volumen de producción de rábano, porque es la variable sobre la cual se va a hacer la medición. Si dentro del experimento en ningún caso se presenta aumento de la producción, podemos afirmar que el fertilizante no influye en la producción. Pero si ocurre un aumento de la producción, podemos decir que la cantidad de fertilizante influye sobre la producción. Dicho de otra forma, la cantidad de fertilizante es la causa y el volumen de producción es el efecto.

Este sencillo ejemplo nos permite llegar a varias conclusiones:

- La causa es la variable independiente y el efecto es la variable dependiente
- La variable independiente la manipula el investigador y en la variable dependiente se mide el efecto que causa la variable independiente.
- Primero está la causa y después está el efecto.

El ejemplo que hemos desarrollado sobre la cantidad de fertilizante y el volumen de producción es un típico diseño experimental básico o pre experimental como técnicamente se le llama en la literatura. En este tipo de diseños experimentales no existe selección aleatoria de los elementos para el experimento, ni existe grupo de control, ni existen pre pruebas. Solamente estamos planteando un diseño con una pos prueba y posiblemente dos grupos experimentales para que se cumplan diferentes cantidades de fertilizante.

Las características de los diseños experimentales en general tienen las siguientes características:

- Presenta una, dos o tres variables independientes y una o más variables dependientes.
- Están basadas en el principio de causalidad lineal.
- Todas las variables extrañas que puedan afectar el experimento se aíslan.
- Dentro de los modelos es imposible contar con más de tres variables independientes por la dificultad para realizar los respectivos análisis estadísticos y matemáticos y de logística.

2.1 EL PRINCIPIO DE CAUSALIDAD SISTÉMICO Y LA INVESTIGACIÓN

El principio de causalidad descrito arriba es la visión tradicional que ha predominado en los últimos trescientos años. Es conocida como la causalidad lineal o la ley de causa y efecto. A pesar de lo obvia y verdadera que aparenta ser dicha ley, existe otra forma de visualizar las causas y los efectos dentro del mundo real. Esa otra forma de ver el mundo es la causalidad sistémica, la cual pasamos a discutir a partir de ahora.

Para el pensamiento sistémico no existe una relación lineal entre la causa y el efecto sino una relación

circular, lo cual se puede representar así (Ver Figura No. 3):

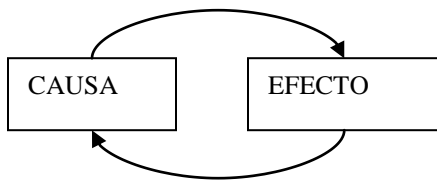


Figura 3: Causalidad circular

Por lo tanto la relación entre la causa y el efecto dentro del pensamiento sistémico tiene los siguientes principios:

- La causa influye en el efecto y a su vez el efecto influye en la causa.
- La causa es efecto y el efecto es causa.
- La causa y el efecto no son sucesivos sino simultáneos.
- La causa y el efecto actúan en el mismo tiempo.
- La causa y el efecto forman un sistema.

Si en la naturaleza y en el universo lo que existen son relaciones de causa – efecto circular y no lineal, entonces el hecho de aprender a descubrirlas cambiará la forma de pensar del hombre y por lo tanto la investigación también tiene que empezar a concebirse dentro de otro contexto.

Si volvemos al fertilizante y la producción de rábano para un análisis del punto de vista sistémico, nos encontraríamos con una situación como la siguiente:

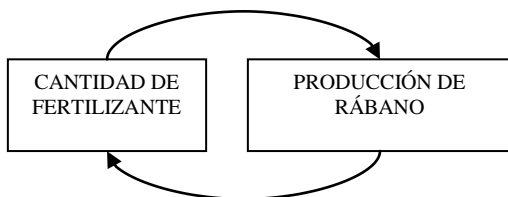


Figura 4. Causalidad circular: fertilizante y producción

La cantidad de fertilizante influye en el volumen de producción y también el volumen de producción influye en la cantidad de fertilizante. Esta afirmación requiere que se aclaren algunas situaciones desde el punto de vista sistémico.

Desde el punto de vista lineal y del experimento planteado no existe ninguna duda de que la cantidad de fertilizante influye en el volumen de producción,

pero lo que no está claro es cómo el volumen de producción influye en la cantidad de fertilizante. Es decir, cómo una variable que es dependiente se va a convertir en una variable independiente.

Para ello es importante que tengamos en cuenta no un evento aislado como se plantea en la investigación experimental lineal. En la sistémica no se puede plantear la investigación con un solo dato y mucho menos aislando las variables en un laboratorio. Cuando en un trabajo de laboratorio o en un parcela experimental se plantea que tal cantidad de fertilizante es necesario suministrar a una plantación de rábano para que produzca tal cantidad de rábano cosechado, es una situación que se analiza sólo en el contexto de ese experimento, que a lo sumo se realiza una sola vez, incluso puede ser con diferentes réplicas, pero que no dejan de ser en un momento determinado.

Lo que plantea el pensamiento sistémico es que el cultivo de rábano hay que analizarse como un sistema y como tal hay que tener en cuenta el tipo de terreno en el que se está cultivando, las variedades que se están usando, el clima, los cultivos anteriores en el terreno, el análisis del suelo, las labores culturales, la absorción de nutrientes por parte del cultivo, entre otras variables.

Por lo tanto, si dentro de determinadas condiciones naturales el rábano produce determinada cantidad de rábano cosechado, se supone que si hacemos producir más rábano, entonces algo también está ocurriendo con el fertilizante y con los nutrientes naturales del suelo. Dicho de una forma directa: si a la planta le hacemos producir más de lo normal, entonces el suelo también se tiene que agotar y tarde que temprano se tendrá que echar mayor cantidad de fertilizante al suelo para poder sostener una determinada cantidad de producción.

Dentro del contexto del funcionamiento del cultivo de rábano como un sistema y no como un experimento, es que sostenemos que la producción de rábano influye en la cantidad de fertilizante: pues mientras más producción de rábano cosechemos más fertilizante y nutriente tenemos que echar al suelo para que éste no se agote.

Como hemos visto en este ejercicio, el diseño experimental basado en la estrecha relación entre causa y efecto de tipo lineal, no es la única forma de hacer investigación. Aunque aceptamos que ella es válida en algunos contextos, también es cierto que hoy en día existen otras herramientas que permiten

realizar otro tipo de investigaciones. Estamos seguros que la sistémica y la Dinámica de Sistemas son dos herramientas que permiten impulsar la investigación en otra dirección.

El llamado que estamos haciendo aquí es que no podemos circunscribir la investigación experimental de tipo lineal como la única alternativa de hacer investigación. Creemos que a través de la concepción de todo objeto de investigación como un sistema y a través de las simulaciones de la Dinámica de Sistemas se puede realizar otro tipo de investigaciones que sean iguales o más cercanos a la realidad que la misma investigación experimental clásica.

Lo anterior nos está mostrando que con urgencia es necesario crear textos de metodología de la investigación que incluyan nuevas herramientas y concepciones, que presentemos a los estudiantes esas nuevas metodologías y que formemos con la idea de que además del llamado método científico clásico también existen otros métodos que son igualmente científicos.

2.2 DE LA CAUSALIDAD CIRCULAR AL DIAGRAMA DE LAZOS CAUSALES

En este ejercicio hemos podido pasar de la causalidad lineal a la causalidad circular. A pesar de que esta última constituye un gran avance para interpretar los sistemas y por tanto la realidad, no es todavía lo más avanzado que se ha desarrollado la dinámica y la sistémica. Además de la causalidad circular contamos con otra herramienta clave que es la que nos permite comparar el método de la Dinámica de Sistemas con el método científico. Los llamados diagramas causales o lazos causales son la herramienta básica para la modelación de los sistemas a través de la Dinámica de Sistemas.

Dicho de una forma sencilla, un diagrama de lazos causales es una representación de las conexiones y relaciones causales circulares existentes entre variables de un sistema. Para desarrollar un diagrama de lazos causales se recomienda tener en cuenta los siguientes pasos:

a. **Determinar el problema que se va a investigar.** Desde el punto de vista del pensamiento sistémico, el problema que se va a investigar hace referencia a la historia del problema, empezando por los hechos puntuales que representan el síntoma del problema.

b. **Definir las variables de estado.** Las variables de estado es un concepto nuevo con respecto al método experimental. Siguiendo a González y Roitman (2006) podemos decir que las variables de estado son aquellas cuyos valores determinan el estado interno del sistema en un instante cualquiera y en las que va comprendida la historia del propio sistema. Éstas son llamadas también variables de nivel o variables acumulativas, porque reflejan la acumulación de una cierta magnitud a través de la historia del sistema. Tal como lo afirma el autor, estas variables constituyen la “memoria” del sistema.

c. **Definir las relaciones productor – producto.** Si en el paso anterior hemos definido las variables de estado, en este se tratan de identificar las relaciones productor–producto. Producto viene a ser la variable de estado y productor viene a ser la variable que influye sobre la variable de estado.

d. **Definir las variables independientes y dependientes del sistema.** Al igual que en el enfoque experimental aquí también se definen ambos tipos de variables. En la Dinámica de Sistemas a las variables independientes se les conoce con el nombre de variables de control o variables de entrada o de insumos (Lara 2006). Son aquellas relacionadas con un efecto dado y susceptible de ser manipuladas directamente con el fin de llevar el sistema a un estado predeterminado. Las variables de control o independientes tienen influencia directa sobre las variables de estado.

Por su parte, las variables dependientes o de respuesta son aquellas relacionadas con los efectos de un sistema, que son proyectadas al entorno como resultado de la acción de las variables de control y el estado del sistema. También son llamadas variables de salida y tienen como característica la de ser observables y servir de base para la evaluación del desempeño de un sistema.

e. **Determinar las variables incontrolables y las restricciones del sistema.** Las variables incontrolables son las que provienen del entorno y actúan sobre el sistema afectándolo en alguna forma, sin que se pueda ejercer ninguna influencia sobre ellas. Por su parte, las restricciones del sistema hacen referencia a los límites de expansión o de reducción de cualquier sistema. En la sistémica las restricciones son los

llamados procesos compensadores o bucles de balance de un sistema.

f. **Diagramar el modelo de lazos causales.** Luego de estar abordados cada uno de los pasos mencionados atrás, estaremos en disposición de diagramar el modelo de lazos causales. Un modelo de lazos causales no es más que los bucles de realimentación que existen entre todas las relaciones entre las variables. Dicho de otra forma, en modelo de lazos causales.

g. **Pruebas para el funcionamiento del modelo.** La consistencia del modelo se busca a través de la lógica de funcionamiento del modelo.

2.3 DESARROLLO DE UN EJEMPLO DE DIAGRAMA DE LAZOS CAUSALES

Cada uno de los anteriores pasos se resume a continuación en una serie de gráficas que nos muestran un ejemplo de la situación actual de un programa académico y las estrategias para aumentar la cantidad de estudiantes matriculados en una universidad (Scheel Mayenberger, Carlos. Dinámica de ecosistemas industriales. Editorial Trillas, ITESM, Universidad Virtual, México, 2008).

En la **Figura 5** se muestran las variables de estado (Prestigio, población y presupuesto para investigación) y en las **Figuras 6 y 7** las relaciones productor – producto



Figura 5 Relación productor producto: prestigio

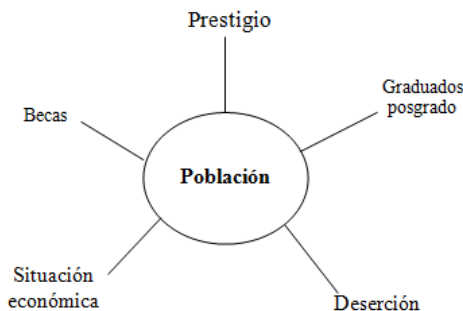


Figura 6. Relación productor producto: población

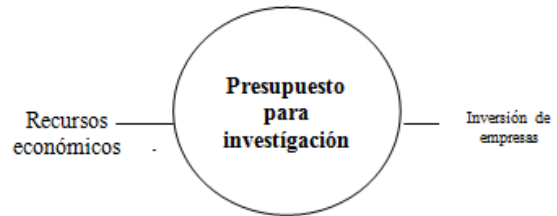


Figura No. 7: Relación productor producto: presupuesto para investigación

En la **Figura 8**, después de desarrollar los otros puntos de la metodología, se llega a construir el diagrama causal que representa la red de relaciones de influencias mutuas entre el grupo de variable.

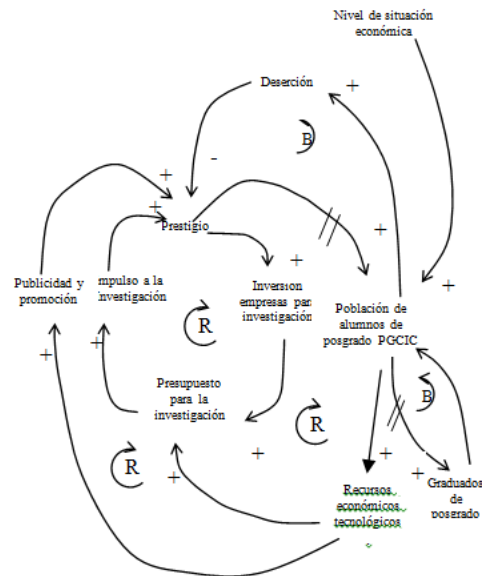


Figura 8. Diagrama causal

Para la validación del modelo el autor recurrió a la recolección de datos reales de la población de alumnos y comparó el comportamiento de esa población con los resultados que arroja el modelo y se encontró que el modelo es bastante cercano a la realidad.

CONCLUSIONES

Después de hacer un recorrido por el método científico que se usa en la investigación experimental y después de haber planteado un ejemplo de la Dinámica de Sistemas, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Los textos de metodología de la investigación que estamos usando en las universidades están enfocados básicamente a

un solo tipo de investigación, esto es, la investigación experimental de tipo lineal.

- La sistémica y la Dinámica de Sistemas deben desarrollar textos de metodología de la investigación que permitan a los estudiantes ampliar la visión sobre las alternativas metodológicas para la investigación científica.
- La metodología sistémica permite utilizar una mayor cantidad de variables independientes y dependientes y por lo tanto los modelos pueden ser, en muchos casos, más cercanos de realidad que los modelos lineales del método científico.
- La Dinámica de Sistemas permite implementar el concepto de experimentación a través de los micromundos, lo cual también requiere que se incluya en los textos de metodología de la investigación sistémica.

3. REFERENCIAS

ECHEVERRI ECHEVERRI, R. D. y FRANCO MONTOYA, L. M.; *Cómo Aprender a Pensar Sistémicamente*; 1ª edición; Echeverri y Franco Editores, Popayán, 2005.

SCHEEL MAYENBERGER, C. *Dinámica de ecosistemas industriales*. Editorial Trillas, ITESM, Universidad Virtual, México, 2008.

LARA ROSANO, F. *Conceptos básicos en tecnología y sistemas sociotécnicos*. En: *Formación de conceptos en ciencias y humanidades*. Siglo XXI editores. México, 2006.

4. CURRÍCULUM

Echeverri Echeverri Rubén Darío, economista agrícola, especialista en recursos humanos, magíster en ecoauditoría y planificación empresarial de medio ambiente, docente universitario, escritor en revistas, coautor del libro “Cómo aprender a pensar sistémicamente”. Conferencista nacional e internacional, asesor y consultor de empresas.

Franco Montoya Luz Marina, ingeniera industrial, especialista en métodos administrativos y de Producción. Candidata a magíster en dirección estratégica en tecnologías de información, docente universitaria, escritora en revistas, coautor del libro “Cómo aprender a pensar sistémicamente”. Conferencista nacional e internacional, asesor y consultor de empresas.

MICROMUNDOS DE APRENDIZAJE

Self-organizing market structures, system dynamics, and urn theory

Estructuras de mercados autoorganizados, Dinámica de Sistemas y teoría de urnas

Fernando Buendía, PhD
Universidad Panamericana-Campus Guadalajara
fernando.buendia@up.edu.mx

Abstract: This article argues that the tools of system dynamics and urn theory can be used to model self-organizing markets, whose fundamental characteristic is that size of their firms by rank order follows the Zipf distribution. While complex industrial structures of this kind are hard to describe with conventional theories, system dynamics and urn theory are equipped with adequate tools to deal with this kind of evolutionary phenomena.

Key words: Self-organizing markets, Zipf distribution of firm sizes, increasing returns, urn theory.

Abstract: Este artículo sugiere que las herramientas de Dinámica de Sistemas y teoría de urnas se pueden usar para modelar el comportamiento de los mercados autoorganizativos, mercados cuya característica fundamental es que el tamaño de sus empresas sigue una distribución de Zipf. Específicamente se demuestra que las estructuras industriales complejas de éste son difíciles de describir con las teorías convencionales. En cambio la teoría de dinámicas de sistemas y la teoría de urnas cuentan con los instrumentos adecuados para tratar con este tipo de fenómenos de carácter evolucionista.

Palabras clave: mercados autoorganizativos, distribución Zipf de parte de mercado, rendimientos crecientes, teoría de urnas.

1. INTRODUCCIÓN

It has been shown that the distribution of sizes of many enormously complex physical, biological, and

socioeconomic systems can be well described by a very simple *power law*: the number of objects whose size exceeds S is proportional to s^{-a} , where the integer a usually is a round number, like 1 or 2. Among the most spectacular examples of a power law, there is one that involves economics: the size distribution of firms. In this paper, I argue that the tools of system dynamics and urn theory provide a more complete picture the economics of the growth of the firm and stronger and more general conclusions about the evolution of self-organizing market structures. This paper has three additional sections. In section two, I discuss the self-organizing nature of firms' size. In section three I analyze how the tools of system dynamics can be used to better understand the sources of increasing returns to the growth of the firm and the evolution of self-organizing industries. In the last section, I develop some ideas about the convenience of using urn theory to formalize mathematically the theory of self-organizing markets.

2. SELF-ORGANIZATION OF FIRMS

Self-organizing systems —systems that start from an almost homogeneous or random state—, spontaneously generate large-scale patterns. Initially, these systems show imperceptible differences, but over time those small differences become magnified by process or self-reinforcing processes. One of the most evident attributes of firms in modern industrial countries is that exhibit properties of self-organizing systems. This implies that a very small number of large firms coexist with a very large number of smaller firms. The interest in the distribution of company sizes started with Zipf [1], who established that USA corporation assets approximately follow the law

$$s_r = 1/r \quad (1)$$

where s_r is the size of the company ranked r in a list of firms ordered by asset size, beginning with the largest. The same law has been found to describe the distribution of words in a variety of languages, s_r being then the number of occurrences of the r th word in a list ordered by number, beginning with the most frequent [2]. Empirical studies have found that Zipf's law describes phenomena in various fields, including cities [3], immune system response [4], [5], and aspects of Internet traffic [6].

To visualize how the distribution of firm sizes follows Zipf's law, we take the firms of a country and order them by size¹. We then draw a graph; on the y-axis we place the logarithm of the rank, r , and on the x-axis the logarithm of the size of the corresponding firms ($s_1 > s_2 > \dots > s_N$). If we run a regression of the relationship between these two variables, we obtain the straight line:

$$\ln r = \beta_1 - \beta_2 \ln s_r + \varepsilon_1 \quad (2).$$

An expression of Zipf's law is that the slope of this regression line (β_2) is very close to -1. In terms of the distribution, this means that the probability that the size of a firm is greater than some S is proportional to $1/S$

$$P(\text{Size} > S) = 1/S^{\beta_2} \quad (3), \text{ with } \beta_2 = 1.$$

However, Mandelbrot [7] establishes that Zipf's law was a special case of a more general relation, the so-called simplified canonical law (scl)²:

$$s_r = P(r + \rho)^{-1/\beta_2} \quad (4).$$

Recently, Ramsden and Kiss-Haypál [8] found that the equation (4) does not fit the data for the different countries they studied. Specifically, their analysis of the data on the largest 500 U.S. firms gives a β_2 close to 1.25. For other countries, β_2 ranges from 0.44 for South Africa and 0.65 for Netherlands to 1.4 for Hungary and 1.2 for China.

¹ Size can be measured in number of ways: annual sales, current employment, and total assets. Though we might in principle expect systematic differences between the several measures, such differences have not been a focus of interest in the literature. An interesting property of firm size distributions noted in the studies of large firms is that qualitative character of such distributions is independent of how size is defined.

² P , ρ , and β_2 are parameters of the distribution, so when $\rho = 0$ and $\beta_2 = 1$, then (4) becomes a traditional Zipf distribution.

In contrast with what Ramsden and Kiss-Haypál [8] found, Axtell [9], using data on the entire population of tax-paying firms in the United States, shows that the Zipf distribution characterized firm size: the probability a firm is larger than size s is inversely proportional to s . These results hold for data from multiple years and for various definitions of firm size. Specifically, Axtell [9] proves that data from USA Census including firms with 1 employee are approximately Zipf-distributed ($\beta = 1.059$), as determined by ordinary least squares (OLS) regression in log-log coordinates. But firms having a single employee are not the smallest economic entity in the United States economy. Although there were approximately 5.5 million firms that had at least one employee during 1977, there were another 15.4 million entities in that year with no employees. These are predominately individuals and partnerships, and are called "nonemployees" firms by USA Census. These firms account for nearly \$600 billion in receipts in 1977. If these firms are included in the overall firm size distribution, the Zipf distribution still fits the data well. Here, OLS yields an estimate of $\beta = 1.098$ (SE = 0.064) and the adjusted $R^2 = 0.977$.

These empirical studies, therefore, have shown that there is no reason to expect the size distribution of firms to take any particular form for the general run of countries. Furthermore, empirical investigations from the 1960s onward have also thrown doubt on whether any single form of size distribution can be regarded as "usual" or "typical" for the general spectrum of industries (cf. Schmalensee [10]). Independently of the fact that market structure varies in systematic way from one country to another and from one industry to another, its high level of skewness constitutes a clear-cut target that any accurate theory of the firm must try to hit. The following section addresses this issue.

3. INCREASING RETURNS, SYSTEM DYNAMICS, AND SELF-ORGANIZATION OF FIRMS

Self-organization of firms is due to a complex network of relations that result from the mutual causality between numerous variables. As with other dynamic systems, the growth of the firm is subject to both negative and positive feedbacks. Negative feedbacks produce *decreasing returns to the growth of the firm*—reductions of benefits due to scale diseconomies—, which may occur because the firm becomes "bureaucratically" congested or administratively limited. Decreasing returns to the growth of the firm are stabilization forces that hinder

the growth of the firm and prevent the eventual emergence of an infinite-size firm. The growth of the firm and the concentration of the industry where it competes depend to a great extent on positive feedbacks; that is, on *increasing returns to the growth of the firm*.

System dynamics was originally developed to help corporate managers better understand and control industrial systems. Later, system dynamics was used to address problems related to systems that change over time, be they physical, biological, or socioeconomic systems (cf. Sterman [11]). More recently, Radzicki [12] has argued that system dynamics computer simulation modeling can be useful to describe evolutionary economic processes, such as the evolution of the competition for market share between firms which are subject to a significant learning curve. Figure 1 shows Radzicki's [12] system dynamics stock-flow diagram for the learning curve model.

Figure 22. Learning Curve Model

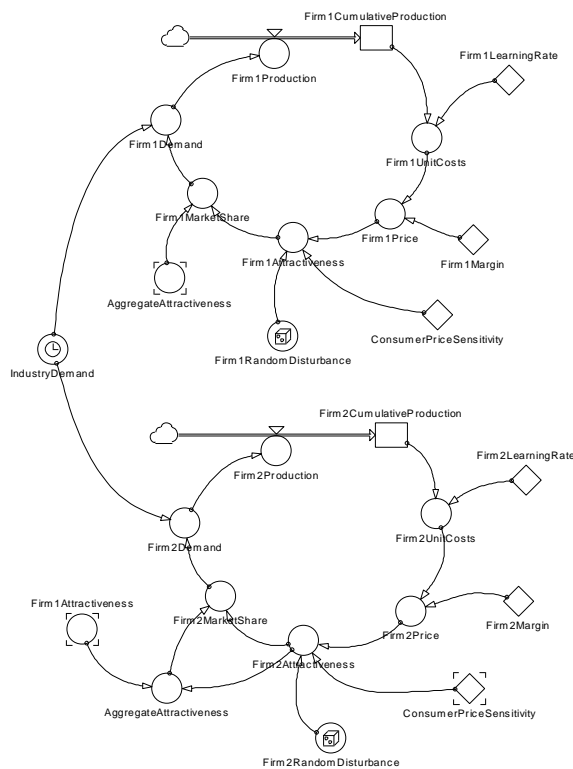


Figure 1 presents a single sector of a simple system dynamics model that exhibits path-dependent, self-organizing behavior. The model consists of two manufacturing firms producing identical products that are competing for market share within their

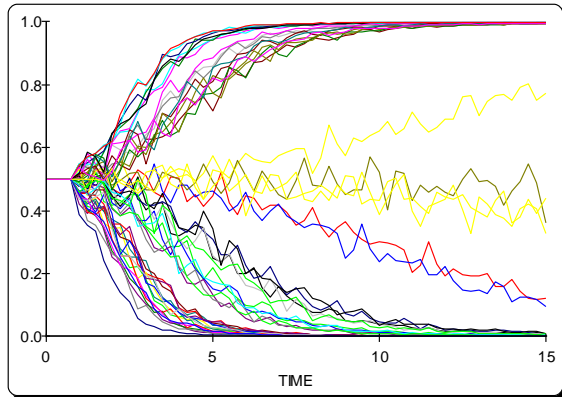
industry. At the beginning of the competition process, the industry demand is divided equally between the two firms. Additional market share is gained only by reducing unit costs and prices—in other words, the firm with the lowest price in any period wins more market share. Each firm can lower its unit costs and price by producing more and thus learning to produce more efficiently (i.e., via learning by doing).

Figure 1 shows two primary feedback loops that affect the growth of firm 1. The first is a positive loop that links firm 1's stock of cumulative production to its unit costs and then to its price, product attractiveness, market share, firm-level demand, and flow of production. The second is a negative loop that connects firm 1's stock of appropriated production knowledge to its unit costs and then to its price, product attractiveness, market share, firm-level demand, flow of production, stock of cumulative production, and flow of learning. The positive loop is a self-reinforcing process of learning—that is to say, the more firm 1 produces, the more it learns how to produce efficiently and thus the lower its price and the higher the demand for its product. The negative loop balances this growth process by describing how firm 1 stops learning from its rivals when its experience in producing the product is higher than that of its rivals.

The model has two important features. The first is that both the firm-to-firm learning rate and the attractiveness of firm 1's product are stochastic (this is shown by the die on the flow icon and the die on the random disturbance icon). The second is that the overall industry demand for the product, which is a limiting factor in the model, has a time-sensitive trigger (shown by the clock face on the industry demand icon). This triggers the evolution of the system by stepping up from zero units to four in time period 1.

Figure 2 also depicts the evolution of the market shares for each firm during four simulations of the model. Initially, the relative market shares oscillate, but at the twenty-fifth time period a dominant firm emerges. From the simulations, it is clear that the behavior of each firm's market share is emergent and path dependent. In other words, the path each firm will take during any simulation run is not knowable from inspection of their microstructures, and the dominant firm can be different from run to run.

Figure 2. Evolution of Market Shares



The model illustrates very well the importance of the mutual causality between efficient production, learning by doing, learning from rivals, and protecting proprietary production methods to explain the growth of the firm, the evolution of the self-organizing market structures. In particular, the empirical firm size distribution analyzed in section 2 is similar to the size distribution that emerges in the learning-curve computational model. As a matter of fact, firms whose size follows the Zipf law $s_r = 1/r$ have a market share given by:

$$MS_r = \frac{1/r}{\sum_{r=1}^n 1/r} \quad (5).$$

In the particular case of our learning curve model where two firms competing for market share, firm 1 ends up with a market share of $MS_1 = 1/(1+1/2) = 0.666$, while firm 2 sticks itself to a market share of $MS_2 = 1/2/(1+1/2) = 0.333$. These results are reproduced by the learning curve model whose outcomes are shown in Figure 2. As this model yields result that replicate, we can conclude that system dynamics is an accurate tool to explain self-organizing industries. Obviously, there are more sources of increasing returns affecting the growth of the firm and the evolution of its industrial structure other than leaning by doing, but this model should be enough to show that system dynamics can be useful to describe self-organizing market structures.

4. SELF-ORGANIZATION OF FIRMS, SYSTEM DYNAMICS, AND URN THEORY

Urn theory or Pólya processes [13], [14] have been considered an important analytical tool to model dynamic economic systems. To understand the relevance of this analytical tool, we can start with the

simple model, where a new technology is adopted in each period of time and randomly chosen from two different formats. This technological adoption process can take two different paths depending on whether there are increasing returns or not. If *decreasing returns* are present then the process of adopting a technology depends on the probability i . In this case, both technologies have a probability of 0.5 to be adopted per period of time, thus the long-term behavior of a model with decreasing returns is clear: As random adoptions at each period are independent from one another, the law of large numbers applies, so each technology's share of adoptions has to converge toward a constant assignment probability for this technology; that is to say, $I = 0.5$. If the random process is repeated an infinite number of times, the process will fluctuate in its early phase, but it will always converge toward the long-term share of $I = 0.5$. The fluctuations in the early part of the process result from the fact that the addition of one adoption has a larger impact on the share with a small total number of adoptions than in a technology with a greater number of adoptions. However these fluctuations disappear over time. This corresponds to the typical growth process of neoclassical economic theory.

When there are *increasing returns*, random assignments at each period are dependent both on one another and on the accumulated numbers of adoptions, so that technology's share converges, toward a different value in the long-term. From a mathematical point of view this process can be described by assuming that the assignment probability at a certain point in time is equal to the shares at that time, which is known as a Pólya process. Under this condition the process of adopting a new technology converges to a stable set of proportions in the long run.

But although this proportion settles down and eventually becomes constant, it does so to a constant vector that is selected randomly from a uniform distribution over all possible shares that sum to 1.0. As the process will settle down to a certain distribution and then remain constant over time, each possible outcome is equally likely. In other words, we know that this process will produce a stable spatial structure but we do not know a priori what this structure will be. As in the model without increasing returns, there are strong fluctuations early on, but a technology that is more adopted early on in the process, because of luck, will end up with a higher market share in the long run, while the technology that is less adopted on will end with a lower market share.

The original Pólya scheme can describe a variety of increasing returns situations, where feedbacks can be positive but with the different levels of strength. While very strong positive feedback leads to market dominance by one of the competing technologies, in other cases, competitors may share the market. There is thus a trade-off between market share and feedback strength.

The traditional Pólya scheme provides a simple explanation of reinforced random processes where stable market sharing with one dominant firm with a large market share and a number of small firms with small market share is the most common outcome. This process is based on an urn with balls of two colors (white and black), with a sampling and replacement policy which obeys the following rule: draw a ball from the urn, observe its color, return it to the urn (sampling with replacement) along with $S > 0$ balls of the same color. History dependence of the process is an inherent characteristic of the evolution of the distribution of the proportion of balls of different colors. For instance, consider an urn containing balls of two colors, say white and black, which represent, for example, two firms competing for market share. The initial number of balls of different color represents the initial sizes of market share of each firm. The sampling and replacement process may be as follows: from an urn containing n_1 white balls and n_2 black balls, a ball is drawn, and its color noted and the ball is returned to the urn along with additional ball(s) depending on the label of the color of the ball drawn. If a ball labeled i ($i = 1, 2$) is drawn, a_{ij} balls labeled j ($j = 1, 2$) are added. We can generalize an addition of balls with a matrix of integers $\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$, where the rows are indexed by the color selected and its columns are indexed by the balls added. In its simplest form this matrix of integers takes the following values: $a_{11} = a_{22} = 1$; that is $S = 1$; $a_{21} = a_{12} = 0$. This implies that just one white or one black ball is added in the urn. When $n_1 = n_2 = S = 1$, the random variable x_t converge almost surely to a limit variable X , which is uniform on the interval $[0, 1]$.

Arthur [22] models the patterns of evolution for the adoption of two competing technologies in a market³, using a basic *urn scheme* with white and black balls, with each color corresponding to a competing product. At its initial state, the urn contains n_w white

³ Obviously, the model can be applied to the assignment of firms to two different regions, the allocation of innovation to two firms, and other processes.

balls and n_b black balls, and a ball is added at subsequent time instances $t = 1, 2, 3$,

The probability of this ball being white is given by $f_t(x_t)$, and the probability for a black ball is $1 - f_t(x_t)$, with the random variable x_t standing for the proportion of white balls in the urn at time t . The dynamics followed by the number of white balls w_t depends on a random binary variable $\xi_t(X_t)$, which is independent of time and takes on values from the sub-set of integer numbers: $\{1$ with probability $f_t(x_t)$, 0 with probability $1 - f_t(x_t)\}$. This dynamics is modeled by

$$w_{t+1} = w_t + \xi_t(X_t) \quad (5)$$

where it is established that the number of white balls at each state remains the same (with probability $1 - f_t(x_t)$) or it is incremented by one (with probability $f_t(x_t)$): $w_{t+1} = w_t$ or $w_{t+1} = w_t + 1$. The dynamics that rules the total number of balls γ_t in the urn at time t is given by

$$\gamma_{t+1} = n_w + n_b + t, \quad (6)$$

and it is incremented by one at each time. The proportion of white balls X_{t+1} in the urn at time $t+1$ is obtained by dividing the number of white balls w_{t+1} by the total number of balls γ_{t+1} ,

$$X_{t+1} = \frac{w_t + \xi_t(X_t)}{n_w + n_b + t} = \frac{(w_t + \xi_t(X_t))(n_w + n_b + t - 1)}{(n_w + n_b + t)(n_w + n_b + t - 1)} = \frac{(n_w + n_b + t)w_t - w_t + (n_w + n_b + t - 1)\xi_t(X_t)}{(n_w + n_b + t)(n_w + n_b + t - 1)} \quad (7)$$

In order to have the current value of X_{t+1} expressed in terms of its previous value X_t plus an increment ΔX_t , some algebraic manipulations are performed,

$$X_{t+1} = \frac{(n_w + n_b + t)w_t}{(n_w + n_b + t)(n_w + n_b + t - 1)} + \frac{(n_w + n_b + t - 1)\xi_t(X_t) - w_t}{(n_w + n_b + t)(n_w + n_b + t - 1)} \quad (8),$$

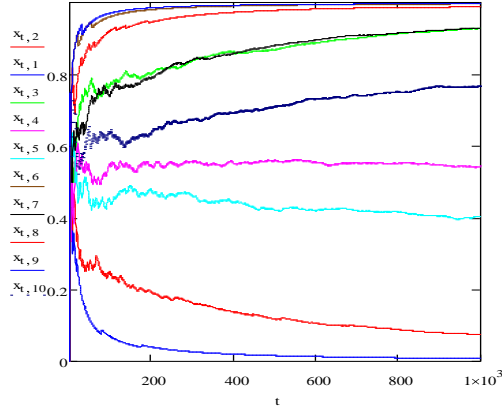
$$X_{t+1} = \frac{w_t}{n_w + n_b + t - 1} + \frac{(n_w + n_b + t - 1)\xi_t(X_t)}{(n_w + n_b + t)} - \frac{w_t}{n_w + n_b + t - 1} \quad (9).$$

Since $X_t = \frac{w_t}{n_w + n_b + t - 1}$, then $X_{t+1} = X_t + \frac{\xi_t(X_t) - X_t}{(n_w + n_b + t)}$.

The *expected value* for the increment in X_t is given by the relation

$$E\left\{\frac{\xi_t(X_t) - X_t}{(n_w + n_b + t)}\right\} = \frac{[1 \cdot f_t(X_t) + 0 \cdot \{1 - f_t(X_t)\}] - X_t}{(n_w + n_b + t)} = \frac{f_t(X_t) - X_t}{(n_w + n_b + t)} \quad (10).$$

Figure 3. Conventional Pólya Process



As Figure 3 shows, eventually the fluctuations in ΔX_t diminish to zero, and X_t reaches a *steady state*, so that $f_t(X_t) - X_t = 0$. It is said that X_t converges to the roots of $f_t(X_t) - X_t = 0$ as $t \rightarrow \infty$ with zero or positive probability; and for an isolated root Φ , the fastness of the convergence of $f_t(X_t) - X_t = 0$ in a neighborhood around Φ , depends on the smoothness of $f_t(X_t)$ at Φ . Other useful way of describing the previous properties of this urn scheme is by defining a function $f(X_t)$ such, that $f_t(X_t) = f(X_t) + \delta_t(X_t)$ and in the limit $t \rightarrow \infty$, $\delta_t(X_t)$ approaches 0, and $f_t(X_t)$ approaches $f(X_t)$. This simple urn scheme displays *positive feedback* and two patterns of evolution reaching a steady state. The behavior of X_t over time describes trajectories with random walks approaching a limit that can take on any value from the sub-set of real numbers $[0, 1]$. This can be also visualized by relating x_t to $f(x_t)$, where x_t is the proportion of technology A and $f(x_t)$ is the probability of adding a white ball, which represents a new adoption of technology A by a new consumer. If we establish a relationship between $f(x_t)$, with different arbitrary functions, we obtain what Figure 4 shows. Specifically, with strong increasing returns, such as network externalities, we obtain probability functions $f(x_t)$, which tend rapidly to radical results such as 100/0. Therefore, the probability of adding a new black ball (technology B)

is practically zero. By the contrary, when increasing returns are weak, the process becomes a conventional Pólya-process. This confirms in some way what we stated before.

Figure 4. Relationship between $f(x_t)$ and x_t

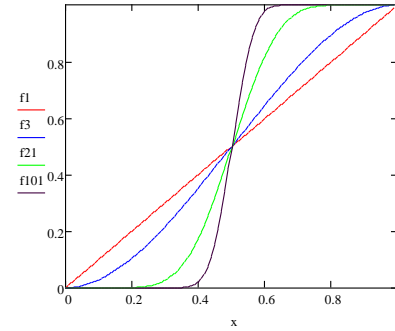


Figure 3 shows a number of conventional Pólya-process simulations, where the roots x_t could be of the sub-set of the real numbers $[0,1]$. As it can be noticed, the outcomes shown in figure 3 are quite similar to the results of Figure 2. This shows that to a great extent, urn theory is a quite adequate mathematical tool to formalize system dynamics-based models, such as the learning curve model. Besides, urn theory yield results similar to the one we observe in reality. This a additional proof of the capacity of urn theory to describe self-organizing markets.

References

[1] Zipf, G. K., 1949, *Human Behavior and the Principles of Least Effort*, Addison-Wesley, Cambridge, MA.
 [2] Zipf, G. K., 1932, *Selected Studies of the Principles of Relative Frequency in Language*, Harvard University Press: Cambridge, MA.
 [3] Gabaix, X. and Y.M. Ioannides, 2003, “The Evolution of City Size Distribution”, *Handbook of Urban and Regional Economics*, Volume IV: Cities and Geography, J. Vernon Henderson and Jacques Francois Thisse, editors, North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
 [4] Burgos, J.D. and P. Moreno-Tovar, 1996, “Zipf-Scaling Behavior in the Immune System”, *Biosystems*. 39(3), 227-232.
 [5] Li, W. 2001. Zipf’s Law in Importance of Genes for Cancer Classification Using Microarray Data”, *arxiv.org* e-print, physics/0104028 (April 2001).

- [6] Breslau, L., P. Cao, L. Fan, G. Phillips, and S. Shenker. 2000. Web caching and Zipf-like distributions: evidence and implications. *Proceedings of INFOCOM'99*, IEEE Press.
- [7] Mandelbrot, B, 1952, “Contribution a la théorie mathématique des jeux de communication”, Publications de l’institut de statistique de l’Université de Paris, 2, 1–124.
- [8] Ramsden, J.J. and G. Kiss-Haypál. 2000. *Physica A*, Volume 277, Number 1, 1 March, pp. 220-227(8).
- [9] Axtell, R. L., “ Zipf Distribution of US Firm Sizes”: *Science*, September 7, 2001, 293: 1818-1820.
- [10] Schmalensee, R., Intra-Industry Profitability Differences in US Manufacturing 1953-1983”, *The Journal of Industrial Economics*, Vol. 37, No. 4, Jun., 1989, pp. 337-357.
- [11] Sterman, J. D. (2000): *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for Complex World*, McGraw-Hill.
- [12] Radzicki, M. J., 2003, “Mr. Hamilton, Mr. Forrester and the Foundations for Evolutionary Economics”, *Journal of Economic Issues*, 37: 133-173.
- [13] Arthur, B. (1994): *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- [14] Arthur, W. B., Y. M. Ermoliev, and Y. M. Kaniovski (1987): “Non-linear Urn Processes: Asymptotic Behavior and Applications”, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, working paper WP-87-85, 33 p.

Juego empresarial para la enseñanza de inventarios con demanda variable

Business game for teaching and learning of inventory management with variable demand

Guillermo L. Carmona G., Ing., Juan S. Montoya A., estudiante
Universidad EAFIT
gcarmona@eafit.edu.co, jmonto41@eafit.edu.co

Resumen: Tradicionalmente la enseñanza de gestión de inventarios se ha realizado usando ejercicios estáticos en condiciones muy ideales y con patrones de demanda constante que pocas veces se ajustan a la realidad. Este trabajo presenta el desarrollo de un juego empresarial para la enseñanza de gestión de inventarios con demanda variable; el juego se plantea como una herramienta pedagógica de apoyo para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de la logística industrial. El juego cuenta con características que tratan de emular situaciones reales, que motiven al estudiante a aplicar los conceptos vistos en clase y a replantear sus modelos mentales. El simulador se desarrolló con la metodología de Dinámica de Sistemas y la herramienta de desarrollo Ithink. Dentro del juego se plantea un caso de una empresa, la cual contrata al usuario para realizar la gestión de inventarios; en el transcurso de esta tarea se evalúa su desempeño a través de mensajes. El usuario puede observar la estructura del sistema y generar diferentes escenarios para ganar mayor comprensión y profundidad en gestión de inventarios.

Palabras Clave: Juego empresarial, gestión de inventarios, demanda variable, Dinámica de Sistemas, simulación, herramienta de enseñanza.

Abstract: Traditionally, the education in inventory management has been done using static exercises with too ideal conditions and with constant demand patterns that few times adjust to reality. This work presents the development of a business game made for teaching inventory management with variable demand; the game is presented as an educational tool to strengthen the teaching-learning process of business logistics. The game has characteristics that try to simulate real situations that motivate the student to apply the concepts learnt in class and to

reframe their mental models. The simulator was developed using the Systems Dynamics methodology and the software Ithink. The game shows the case of a company that hires the user to do the inventory management; while the user plays it, their performance is evaluated using different messages. The user can see the structure of the system and can generate different scenarios to gain better comprehension and depth in inventory management.

Key words: Business game, inventory management, variable demand, systems dynamics, simulation, teaching tool.

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente la enseñanza de la gestión de inventarios se ha basado en ejercicios estáticos, cubriendo generalmente un patrón de demanda estable. Las demandas con patrón estable no alcanzan a ilustrar y a profundizar muchas de las situaciones que se presentan en la práctica. De esta forma, los estudiantes no consiguen estar suficientemente preparados ante el entorno dinámico empresarial que enfrentarán.

Para solucionar esta dificultad, es conveniente apoyarse de herramientas que permitan al estudiante simular situaciones que se le presentarán en el mundo real en forma dinámica. El juego empresarial puede cubrir esta necesidad; además aumenta la motivación del estudiante, elemento fundamental de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que impulsa al alumno a la adquisición de conocimiento y a fomentar su actitud crítica y pensamiento creativo [1].

En el año 2009, el semillero de “Gestión de la Producción y Logística”, de la universidad EAFIT, inició el desarrollo de un juego empresarial de gestión de inventarios con demanda constante. El presente trabajo recoge los resultados obtenidos de ese desarrollo [2] y añade la aplicación de demanda variable para dar mayor alcance a los temas tratados en gestión de inventarios, incrementando la similitud del juego con la realidad. Adicionalmente, se ilustran las características del modelo, la metodología de desarrollo y una propuesta pedagógica para la aplicación del juego en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Por muchos años, la educación tradicional se ha enfocado principalmente en la implementación de ejercicios estáticos y generales, en los cuales el estudiante debe aplicar los conceptos teóricos vistos en dispendiosas cátedras dictadas por el profesor. Este modelo de enseñanza no permite al estudiante analizar más a fondo el sistema que está estudiando, las variables involucradas y las relaciones entre ellas, limitando el dominio del tema. Lo anterior trae como consecuencia menos eficiencia y eficacia en las soluciones planteadas a situaciones reales y dinámicas que se le presentarán al futuro profesional. La enseñanza de gestión de inventarios no es la excepción, ya que la mayoría de los modelos de control de inventarios han sido desarrollados para patrones de demanda determinísticos o probabilísticos, con media constante en el tiempo [3].

La gestión de inventarios se ha convertido en una actividad clave dentro de la cadena de suministro. “En Estados Unidos el costo promedio de un inventario representa entre 30 y 35 por ciento de su valor” [4], este costo tan significativo determina la gran importancia que tiene, a nivel empresarial, realizar una adecuada gestión sobre el sistema de inventarios, para así reducir los costos y aumentar la competitividad de la organización.

Debido a estas problemáticas y al desarrollo casi nulo en Colombia referente a los juegos gerenciales [5], se acude a la creación de un juego empresarial que fomente el interés y participación del estudiante en el proceso de enseñanza-aprendizaje en gestión de inventarios; además, que favorezca el surgimiento de características únicas dentro del ámbito real tales como: la presión del tiempo, la limitación de recursos, información incompleta, la aleatoriedad y no linealidad de los datos.

3. APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

A finales de la década de los 60, Jay Forrester desarrolla la Dinámica de Sistemas como una metodología de simulación de ambientes cambiantes en el tiempo. Ésta se ha difundido dentro del medio productivo como una herramienta importante para la toma de decisiones, sin embargo, en los procesos de enseñanza-aprendizaje ha sido muy escasa su aplicación.

El juego empresarial planteado en este proyecto se desarrolla con base en la metodología de Dinámica de Sistemas. La comunidad científica ha reconocido el valor de la implementación de dicha metodología dentro del proceso de aprendizaje, reconociendo principalmente la actitud analítica y reflexiva que adopta el aprendiz y que le permiten evaluar sus decisiones, reevaluando los modelos mentales que ha usado frente a determinada situación [6]. Según lo anterior, el juego empresarial es un facilitador para la aplicación de los conceptos vistos en clase a una experiencia práctica altamente parecida a la realidad, que a su vez le permitirá al estudiante comprender mejor el sistema y le ayudará a definir una buena solución según los parámetros establecidos.

4. GESTIÓN DE INVENTARIOS

La gestión de inventarios consiste en las políticas y controles reguladores de los niveles de inventario, los cuales determinan qué niveles se deben mantener, cuándo se deben reabastecer existencias y cuál debe ser el volumen de los pedidos [4]; los beneficios de la correcta gestión del sistema de inventarios son perceptibles siempre y cuando la persona encargada de la administración de estos comprenda la estructura del sistema y su comportamiento en el tiempo; debido a esto es que se recurre al juego empresarial como una herramienta pedagógica que prepare a los estudiantes para enfrentar más adecuadamente la gestión de inventarios.

5. DESCRIPCIÓN DEL JUEGO EMPRESARIAL

Para la aplicación del juego se recurrió a la elaboración de un caso empresarial: una distribuidora de papel llamada “Resmas y Resmas”, donde el estudiante es contratado para realizar la gestión de inventarios, a su vez se le establece el tiempo de doce meses para que en su labor optimice los costos de inventario y el nivel de servicio. A lo largo de la

ejecución del juego, el estudiante recibirá mensajes de motivación o llamados de atención de parte del gerente, dependiendo de los resultados que el estudiante vaya obteniendo a lo largo de su gestión.

Para que el estudiante pueda tomar decisiones, se diseñó el modelo con una interfaz gráfica (fig. 1) mediante el software Ithink. A través de esta interfaz el estudiante tendrá a su disposición tanto las variables de decisión como las variables que rigen la situación específica de los inventarios dentro de la empresa. El comportamiento de la empresa se reflejará a través de gráficos y tablas donde las variables evolucionan en el tiempo para facilitar la comprensión del comportamiento por parte del usuario del juego. Esta interfaz contiene elementos como perillas o deslizadores donde el estudiante modificará los parámetros; esto hace que el ambiente del juego sea muy fácil de interpretar y favorece la interactividad con el usuario.



Figura 1. Interfaz gráfica

Dentro del juego se presentarán 4 ejercicios diferentes, cada uno de ellos con patrones de demanda diferentes: constante, aleatorio constante, aleatorio con tendencia y aleatorio estacional (fig. 2). Para cada uno de estos patrones, el estudiante deberá optar por estrategias diferentes que le permitan optimizar costos y nivel de servicio. El patrón de cualquier ejercicio puede ser modificado por el usuario para ampliar los escenarios que se pueden evaluar.

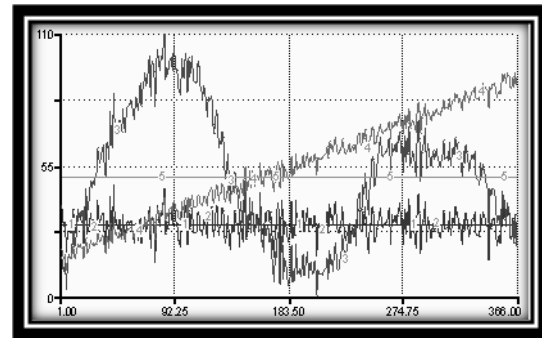


Figura 2. Patrones de demanda empleados

La existencia de diferentes patrones de demanda acerca más el juego a la realidad, ya que la mayoría de las empresas presentan variabilidad y tendencia en sus demandas; además, al presentarsele diferentes condiciones al estudiante se promueve la comprensión y profundidad del sistema de inventarios, producto de esto, el estudiante estará mejor preparado para su futuro entorno laboral.

6. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo del sistema de inventarios se compone de varios submodelos: modelo de flujo de inventario, modelo de cálculo de costos y modelo de cálculo de nivel de servicio (fig. 3).

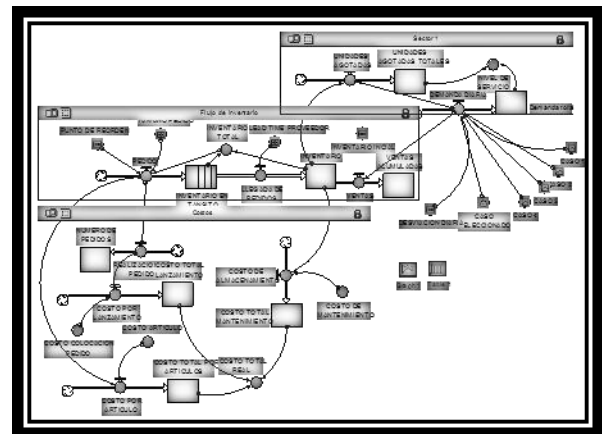


Figura 3. Modelo del sistema de inventarios.

En el modelo de flujo de inventarios el nivel de unidades en stock se incrementa por los pedidos realizados por la empresa y se reduce por la demanda. El aumento de inventarios también es afectado por el tiempo de entrega del proveedor y la demanda se afecta por la desviación.

Con el modelo de cálculo de costos se calculan los costos totales del sistema a partir del costo fijo por

pedido, el costo de cada resma y el costo de mantener estas resmas en el inventario.

El cálculo del nivel de servicio calcula las unidades que no se le entregan al cliente cuando éstas han sido demandadas porque no hay en inventario.

7. PROPUESTA PEDAGÓGICA

Con el objetivo de guiar al estudiante en su interacción con el juego, se plantea una propuesta pedagógica que promueve la comprensión del sistema por medio de la descripción de variables, preguntas para el análisis y el planteamiento de diferentes escenarios. Dicha propuesta puede ser usada por el docente para implementar el juego en su clase, fusionando la teoría con la práctica de la gestión de inventarios.

8. RESULTADOS

Se logró identificar, mediante la literatura estudiada, el estado del arte de la aplicación de simulaciones empresariales y micromundos, tanto en los procesos educativos como en la toma de decisiones a nivel empresarial.

Mediante el software Ithink se desarrolló el modelo para la gestión de inventarios con demanda constante, además la interfaz gráfica con la que el usuario manipula el simulador. Con intención de mejorar lo realizado, se determinó que para acercarse más a la realidad el juego debería contemplar la variabilidad de la demanda, por lo que se retomó el primer modelo, se corrigió y se rediseñó hacia la gestión de inventarios con demanda variable.

Se creó un caso empresarial, en el cual se recrean diferentes patrones de demanda variable, que junto a la propuesta pedagógica desarrollada guiarán la actividad del estudiante y profesor en el uso del juego empresarial.

9. TRABAJOS FUTUROS

Se espera que por medio de la aplicación del juego los estudiantes incrementen su creatividad, experiencias significativas y su espíritu crítico. Para corroborar lo anterior, en futuros proyectos se hará un estudio mediante encuestas a los estudiantes que utilicen la herramienta en la materia de logística industrial.

10. REFERENCIAS

- [1] ESCOBAR PÉREZ, B.; LOBO GALLARDO, A. “Juegos de simulación empresarial como herramienta docente para la adaptación al espacio europeo de educación superior: Experiencia en la diplomatura en turismo”; Cuadernos de turismo; No. 16; julio-diciembre 2005, pp. 85- 104.
- [2] RAMÍREZ ECHEVERRI, S.; CARMONA GONZÁLEZ, G.; CASTRO URREGO, J. (2009). “Juego empresarial para el aprendizaje de inventarios”. Seventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Paper #184.
- [3] VÉLEZ, M., CASTRO, C. “Modelo de revisión periódica para el control de inventario en artículos con demanda estacional. Una aproximación desde la simulación”; DYNA, No. 137; noviembre 2002, pp. 25-34.
- [4] CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J.; Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva; 10a Edición; Editorial Mc Graw Hill; México D.F., 2006, p. 606.
- [5] PLATA BOGOYA, J. A. Los Juegos Gerenciales. El presente de la gerencia; IIEC; Vol. 2, No. 3; 2008, pp. 84- 90.
- [6] STERMAN, J. D., Business dynamics systems thinking and modeling for a complex world; Editorial Mc Graw Hill; Boston, 2000 pp 34-38.

En busca de la utopía: plasmando un ideal que puede ser real

Looking the utopy: puttting down an ideal which might be real

Diego Alejandro Castro, Sebastián Jaén, PhD(c), Andrea Alejandra Quiroz Salazar, Samuel Duque Álvarez, Diego Alejandro Ospina Álvarez

Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia
dialcastro@gmail.com, jjaen@udea.edu.co, andreaqs7@gmail.com, mx.samd@gmail.com,
ospi333@gmail.com

“Esto no es un tiempo para el pensamiento convencional o dogmas anticuados, sino para la intervención fresca e innovadora que llega al corazón del problema”.

UK Prime Minister, Gordon Brown, October 2008

Resumen: En el presente trabajo se presenta una aproximación al modelamiento del problema de decisión de una comunidad que debe enfrentarse a la decisión de consumir de manera eficiente unos recursos básicos (agua, hierro, barro y alimentos), para satisfacer unas necesidades prioritarias: salud, educación, industria y desarrollo urbano, teniendo en cuenta la escasez de los recursos y la interrelación entre ellos. El propósito fundamental de este trabajo es diseñar un prototipo de manejo de recursos, para que un estudiante de ingeniería industrial, ante una situación simulada a partir de un juego, asimile los conceptos de productividad, competitividad y pensamiento sistémico.

Palabras clave: competitividad, productividad, desarrollo sostenible, recursos, juego, Dinámica de Sistemas.

Abstract: This work stresses an approach to the problem faced by a community which needs to invest and allocate some basic resources (water, iron, mud and food), for satisfying a set of priority needs (health, education, industry and urban develop). Community has to consider the resource's scarcity and the interactions among them. The main goal of this work is to train students in making decision's process through a simulated game which requires the concepts of productivity, competition and system thinking to succeed.

Keywords: Competition, productivity, sustainable development, resources, game, system dynamics.

INTRODUCCIÓN

El ejercicio profesional del ingeniero industrial está íntimamente ligado con la generación de condiciones apropiadas para el crecimiento económico de las organizaciones en las que se desempeña. Para el adelanto de esta labor cuenta con herramientas teórico-conceptuales vinculadas con la producción, la calidad, la logística, la administración, la investigación de operaciones, entre otras. Sin embargo, dada la realidad actual que busca la consolidación de un mundo globalizado, se considera de vital importancia que en su proceso formativo reconozca que el desarrollo humano debe ser el objetivo central de la actividad humana y que el crecimiento económico es un medio que podría ser muy importante para promoverlo (Gustav & Stewart, 2002).

Este reconocimiento puede contribuir a que la toma de decisiones sea adelantada de una manera razonada y contemplando la necesidad de construir un mundo mejor para cada uno de los seres que lo habita, teniendo en cuenta además que “*los logros en materia de desarrollo humano pueden contribuir de manera decisiva al crecimiento económico*” (Gustav & Stewart, 2002).

Para lograr estas reflexiones en el futuro profesional, se requiere de experiencias prácticas en el proceso formativo que le permitan vivir situaciones complejas, en las que deba utilizar sus habilidades y conocimientos de manera integral, vinculándolos al

logro de un objetivo que articule la mejora de las condiciones sociales del entorno; esta experiencia puede llevar a que el estudiante entienda que los ambientes a los que debe enfrentarse en la vida real, estarán condicionados por múltiples factores no necesariamente controlables.

Para ello, este proyecto busca desarrollar un videojuego en el que el jugador interactúe en un entorno ideal que le permita visualizar las relaciones de influencia entre educación, salud pública, desarrollo urbano, orden público, producción y consumo de bienes y servicios, los cuales estarán dependiendo de la explotación que se haga de los recursos naturales y el aprovechamiento del talento humano. Se espera que este entorno permita a los jugadores entender de manera gradual cómo se relacionan la productividad y la competitividad; cómo se puede mantener dicha competitividad en el largo plazo de acuerdo al uso adecuado de los recursos y cómo influyen en esto los modelos de desarrollo.

En este documento empezaremos por explicar por qué se entiende la Actividad Lúdico Académica - ALA- como complemento del proceso de enseñanza aprendizaje, posteriormente se justifica por qué un videojuego en el ámbito educativo. Para dar soporte epistemológico a esta propuesta se toma como base el constructivismo y el aprendizaje significativo, los cuales aportan en el proceso de enseñanza aprendizaje orientado a plantear reflexiones sobre el desarrollo, la productividad y competitividad haciendo uso del videojuego. Para terminar se plantea la metodología utilizada, se presenta el entorno del juego y se esbozan los resultados esperados.

1. LA ACTIVIDAD LÚDICO ACADÉMICA COMO COMPLEMENTO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

El campo de las metodologías activas es amplio y se configura como un portafolio que incluye las dinámicas y actividades con diferentes grados de complejidad. Dentro de los métodos de complejidad mayor se encuentra el aprendizaje cooperativo-colaborativo, el aprendizaje basado en problemas o solución de casos, el seminario de lectura y discusión o seminario alemán y otros esquemas que potencian el aprendizaje autónomo del alumno. (Benito & Cruz, 2005)

Las metodologías activas se incorporan en la cotidianeidad de trabajo académico en las aulas universitarias como un complemento a las

metodologías tradicionales y resultan fundamentales en la formación profesional, ya que su estructura dinámica permite el ajuste a las necesidades del contexto y aporta en el adelanto de un proceso bidireccional de transmisión del conocimiento –por un lado el estudiante enseña al profesor cómo enseñarle, y por el otro, el estudiante articula e incorpora un nuevo contenido–, esta relación ofrece como resultado la solución de una situación problemática real o cuando menos cercana a la realidad, que además contribuye a que los conocimientos y habilidades aprendidos sean totalmente significativos para el estudiante, permitiendo que a la hora de ser necesaria la aplicación de dichos conocimientos y habilidades en el ejercicio profesional, sea inmediata la reactivación en la red de significados ya construida (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1997), hecho que puede ocasionar una respuesta más ágil y oportuna frente al problema o necesidad que se enfrente.

Sin embargo, la construcción de nuevas propuestas educativas, en el marco de las metodologías activas, *“requiere considerar diversos aspectos tales como: las características de cada grupo en sus habilidades y conocimientos; la mirada autorreflexiva del profesor identificando sus capacidades y limitaciones; las alternativas que han planteado otros, la revisión de nuestra experiencia y de nuestra propia historia, las posibilidades y límites del contexto, entre otros”* (Bohórquez & Corchuelo, 2005)

En la gama de nuevas metodologías se encuentra la Actividad Lúdico Académica (ALA), que consiste en la aplicación de juegos y otras herramientas lúdicas para afianzar conceptos formales concernientes a un área específica del saber (Castro, Barrientos, & Ayala, 2009). Se espera que a través de una ALA que haga uso del videojuego, estudiantes y profesores puedan complementar el uso de la metodología tradicional y construir de manera gradual relaciones de influencia entre productividad y competitividad; por otro lado, se espera generar una conciencia de autorregulación que contemple el crecimiento económico sin perder de vista la satisfacción de las necesidades humanas y otros modelos de desarrollo que pueden aportar más significativamente a la generación de condiciones apropiadas para la vida humana.

2. POR QUÉ UN VIDEOJUEGO EN EL ÁMBITO EDUCATIVO

Los jóvenes de hoy, invierten una buena parte de su tiempo en videojuegos, debido a la expansión del

internet y su fácil comercialización. En el mercado se encuentran videojuegos para todos los gustos, para todos los estratos económicos e incluso adaptados a diferentes ámbitos culturales, por esta razón su uso es cada vez más fácil y frecuente. (Esnaola Horacek & Levis, 2008).

Dentro de esta oferta, existen videojuegos que permiten al usuario jugar por el sólo placer de desplegar una actividad creativa sin metas específicas a lograr; existen otros en los que el propio proceso va definiendo los logros, entre estos existen videojuegos famosos como *Age of Empires*, *Age of mitology*, *Travian* y otros, los cuales de acuerdo con estudios realizados son formatos más apropiados para introducirse en el ámbito educativo, ya que posibilitan un mayor despliegue del potencial creativo de los usuarios y dan la posibilidad de detener el tiempo de juego para reflexionar sobre las decisiones apropiadas y buscar información valiosa (Esnaola Horacek & Levis, 2008), hecho que en el marco de los procesos formativos permite estimular el uso de metodologías activas, en las que el estudiante tiene un papel preponderante en la construcción del conocimiento, ya que desarrolla en el jugador habilidades psicomotrices y lo enfrenta con situaciones que los llevan a la toma de decisiones desarrollando y aplicando estrategias cognitivas de una manera organizada. Además están dirigidos al logro de un objetivo, el cual desarrolla en el jugador una actitud de persistencia, no dejando a un lado la articulación y normalización de algunos conceptos propios del juego, en este caso de la ingeniería industrial, ya que va a tener la facilidad de relacionar un nuevo concepto a su idea preestablecida del mundo.

En el mercado también existen juegos orientados al éxito, en los que se presenta un programa preestablecido que debe seguirse rigurosamente, en éstos se busca la generación de una destreza para responder a una actividad en tiempos cada vez más cortos o en escenarios más complejos. Este tipo de juegos pueden tener componentes educativos interesantes si se enfocan a procesos de optimización.

La combinación de estas dos formas de videojuegos puede brindar una poderosa herramienta de apoyo para el proceso de enseñanza aprendizaje, ya que desde la modelación de entornos ideales, se pueden diseñar diferentes escenarios de acuerdo con el nivel de conocimientos y experiencia de los jugadores.

3. MARCO CONCEPTUAL – EL CONSTRUCTIVISMO Y EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

El concepto de constructivismo atribuido a Jean Piaget (1974), sugiere que a través de procesos de acomodación y asimilación, los individuos construyen nuevos conocimientos desde las experiencias. La asimilación ocurre cuando las experiencias de los individuos se alinean con su representación interna del mundo.

Esta corriente no difiere de los movimientos de renovación de la pedagogía surgidos recientemente, pues considera al estudiante como centro de la enseñanza, además de tener como principal objetivo potenciar sus capacidades de pensamiento y aprendizaje. Puede decirse entonces, que gracias a este enfoque es más probable que el individuo conserve la información adquirida.

Dentro de la teoría del aprendizaje significativo, se encuentra el enfoque de aprendizaje significativo por recepción, éste es definido como el proceso de adquirir conocimiento, habilidades, actitudes o valores, a través del estudio, la experiencia o la enseñanza; con dicho proceso se origina un cambio persistente, cuantificable y específico en el comportamiento de un individuo. (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1997).

Se dice que un sujeto aprende un contenido cuando es capaz de atribuirle un significado; construir un significado, en este contexto, es el hecho de poder integrar el nuevo material de aprendizaje a los esquemas que ya se poseen de comprensión de la realidad; para ellos se requiere de unas condiciones básicas: para empezar, el estudiante debe tener una actitud positiva y el profesor debe aumentar constantemente la motivación en él; en segundo lugar, el contenido debe ser significativo desde el punto de vista lógico y cercano al interés y experiencia del estudiante; por último, el estudiante debe tener los conocimientos previos adecuados, teniendo en cuenta que el nuevo conocimiento no debe adquirirse de forma arbitraria; aquí se resalta entonces la importancia de la estrategia metodológica, pues de ella depende que los conocimientos previos se reactiven, posibilitando que los conocimientos nuevos se inserten en la red de significados del estudiante. (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1997)

El desarrollo

En la actualidad es común oír hablar de "desarrollo", de la necesidad de "programas 'viables' de desarrollo", de la importancia de encontrar un "modelo de desarrollo" adecuado para la región o el país y, en algunos casos, hablamos de "alternativas" al modelo de desarrollo dominante. La discusión acerca de visiones, proyectos y políticas de desarrollo está en la agenda de diferentes naciones y Colombia no es la excepción. Por esta razón es importante preguntarse "*¿de qué hablamos y sobre qué discutimos? ¿Por qué nos resulta tan natural hablar de "desarrollo"? ¿Sabemos qué es lo que este término implica, qué es lo que está detrás de las diferentes "corrientes" de desarrollo?*". (Ponciano, 2008).

Si estos cuestionamientos son resueltos, pueden surgir otros relacionados con modelos específicos, que están en el centro del debate en el presente, y que cuentan con una mayor perspectiva de futuro, por ejemplo *¿Cómo pueden modificarse los niveles de desarrollo humano en el futuro? o ¿Cuáles son las tendencias a largo plazo del desarrollo humano?* (Torres Solé & Allepuz Capdevila, 2009).

Preguntas como éstas son necesarias para entender cómo el "desarrollo" se ha instalado como una manera de construir y percibir la realidad y cómo los diferentes modelos han incidido en las condiciones de vida de la comunidad que los adopta, además de la manera como éstos influyen las decisiones futuras de las naciones¹, por esta razón, se hace necesario hacer un reconocimiento de la evolución del concepto.

Para la primera parte del siglo XX se había generalizado el uso del término "desarrollo urbano", entendido como una forma específica de reformular el entorno de las ciudades, con base en la producción industrial masiva y homogénea de espacios urbanos e instalaciones especializadas (Esteva, 1996). Pero es en 1949 con el discurso de posesión del presidente Truman, que el concepto desarrollo toma una orientación más definida de evolución hacia el bienestar y perfeccionamiento del género humano, esto apoyado por el concepto naciente, pero ampliamente aceptado, de "subdesarrollo" (Illich, 1996), (Rist, 2002), el cual fue usado para referirse a las condiciones de vida propias de los países del sur.

En los últimos 60 años, tras el concepto desarrollo han estado los conceptos de progreso, producción, planificación, también dándole sustento más firme, las ideas que tenemos de ciencia, tecnología y necesidad, estas razones han hecho que el discurso del desarrollo en estos años haya estado centrado en el de bienes materiales (Esteva, 1996).

En la década del 40, se centró en el crecimiento económico, y para 1957 era definido por Paul Baran, como el incremento en la producción per cápita. Para 1960, las consecuencias de éste, ya preocupaban a Naciones Unidas y se planteaba la necesidad de un enfoque en el que se contemplara el desarrollo social como complemento del desarrollo económico.

En 1970 el presidente del Banco Mundial, Robert S. McNamara, reconoció públicamente que una alta tasa de crecimiento no había traído consigo un progreso satisfactorio en el desarrollo. A esta altura ya era evidente que el rápido crecimiento económico traía consigo un rápido crecimiento de las desigualdades. En el transcurso de la década del 70 se experimentaron diferentes enfoques de desarrollo pasando por el desarrollo Humano, el desarrollo participativo, el enfoque a la satisfacción de las necesidades básicas, el desarrollo integral, el desarrollo endógeno, entre otros, que no tuvieron mayor trascendencia o que encontraron gran resistencia por parte de los partidarios del modelo de desarrollo económico (Esteva, 1996), (Illich, 1996).

Para los 90 surge el concepto de redesarrollo, desarrollo sostenible o desarrollo verde y democrático como una estrategia para mantener las concepciones antes planteadas de desarrollo. Por otra parte, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), realiza el primer informe sobre desarrollo Humano, en el que se plantea la ampliación de las elecciones humanas relevantes y se genera un índice en función de posibilitar la comparación internacional con relación al logro obtenido con esas elecciones, el cual fue acuñado como Índice de Desarrollo Humano (IDH), actualmente vigente.

El afianzamiento del modelo de desarrollo humano trae consigo el debate sobre el enfoque basado en el crecimiento económico que ya desde los 60 era cuestionado y pone sobre la mesa preguntas como: "*¿Existe alguna forma de crecimiento económico que promueva el desarrollo humano, o determinadas modalidades de crecimiento económico que sean más propicias para alcanzar el desarrollo humano?, ¿Hay alguna forma de desarrollo humano que*

¹ Ver www.revistafuturos.info/futuros20/historia_des.htm - página web:

promueva el crecimiento económico o hay tipos concretos de ese desarrollo más adecuados para promover el crecimiento?, ¿Debería promoverse el desarrollo humano antes que el crecimiento económico, o podríamos postergar el logro del desarrollo humano mientras fomentamos el crecimiento económico?” (Gustav & Stewart, 2002).

Aún hoy siguen surgiendo nuevos enfoques de desarrollo como son: el desarrollo sostenible, el desarrollo sustentable, el ecodesarrollo o ecosocialismo como también lo han definido. Estos nuevos enfoques cuestionan desde diferentes aspectos los anteriores o hacen uso de algunos de sus principales postulados pero imponiendo nuevas restricciones orientadas a controlar la forma en que estamos ‘consumiendo’ el mundo.

Como vemos, el concepto “desarrollo” se ha insertado en el imaginario colectivo y es común encontrarlo en discursos, programas y políticas. Por otra parte, el crecimiento económico, a pesar de haber sido fuertemente criticado, continúa moldeando los fundamentos de la utilización actual del término "desarrollo" y de su contraparte: el "subdesarrollo".

Este último término, según Gustavo Esteva, constituía un espejo negativo; es decir, una afirmación de la falta de desarrollo. Los países "subdesarrollados" fueron transformados en un espejo invertido de la realidad de los industrializados: un espejo que los desvaloriza y los envía al final de la cola; un espejo que define su identidad.

A razón del afianzamiento del concepto “subdesarrollo” es que el enfoque de desarrollo humano ha tenido trascendencia, debido a su capacidad de vincular la renta con aspectos relacionados con lo social como la salud y la educación (García del Valle & Puerta Gil, 2008), los cuales a través de IDH le han permitido trascender el concepto de crecimiento económico, además, pretende relacionar el desarrollo humano con la satisfacción de las necesidades fundamentales del ser humano (Max-Neef, 1993), sin embargo, para ello es fundamental, según la investigadora Andrea Peroni, “*el análisis de las variaciones conceptuales sobre el lugar, la escala humana del desarrollo, las necesidades humanas fundamentales y ciertas categorías para fines y objetivos educacionales*”.

El modelo de desarrollo humano es de particular interés en el diseño del videojuego, ya que pone al hombre y la calidad de vida en el centro del debate. Además, pone en escena el concepto de comunidad

como un espacio de convivencia, más específicamente como un espacio geográfico, centrado en las relaciones sociales (Romero Marques, 2009), que está sometido a factores endógenos y exógenos.

Hablando de comunidad, se visualiza también como importante el concepto de desarrollo local, impregnado de los planteamientos del ecodesarrollo y de las teorías del desarrollo sostenible, el cual, ofrece alternativas nuevas para conocer, primero, y utilizar, después, los recursos naturales, económicos, humanos, culturales, ambientales y paisajísticos. Estos deben ser apreciados en una visión integrada y holística, que permita comprender sus interrelaciones y generar reflexiones sobre el papel profesional en la consolidación de las condiciones de vida de la comunidad.

Otro aspecto de interés está en el énfasis en la educación, que según tiene un papel importante en la búsqueda de un equilibrio socio ambiental, con vistas al desarrollo local para que, por la sostenibilidad, se pueda llegar a la verdadera dimensión humana. El papel fundamental de la educación en ese proceso será proporcionar a las personas informaciones válidas y ayudar a esas mismas personas a comprender los cambios que están ocurriendo en todas las partes del mundo.

Otra concepción es el desarrollo sustentable, el cual se plantea como el desarrollo condicionado a las necesidades de crecimiento del sistema económico mundial, cuya estructuración la habrían determinado las potencias industrializadas, teniendo en cuenta, naturalmente, los retos del ecosistema tierra.

4. PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD

La productividad está relacionada con la cantidad de insumos que entran en un proceso de transformación versus la cantidad de productos que salen de él; por lo tanto puede definirse como el cociente entre producto logrado y los insumos empleados, razón por la cual se puede afirmar que el nivel de productividad aumenta cuando se produce lo mismo con menos recursos o cuando se produce más con la misma cantidad de recursos (Fernández y Ruiz 2004). Sin embargo, esta definición es engañosamente sencilla, ya que se puede hablar de productividad “parcial” o producción por unidad de un insumo y también se puede hablar de productividad "total" o producción con relación a todos los factores empleados, de donde surge el concepto de Productividad Total de los

Factores PTF que alude al cociente entre producto total y el total de insumos empleados, éste representa el aumento de eficiencia en el uso de todos los factores, lo cual implica reducciones de costos de producción (Gallacher; 2004).

Michael Porter en su trabajo *¿Dónde radican las ventajas competitivas de las naciones?*, plantea que la productividad refleja la capacidad de la industria para innovar y mejorar y con ello se puede garantizar el objetivo principal de una nación, el cual es producir un alto y creciente nivel de vida para sus ciudadanos (Porter; 2001).

Como se puede apreciar este es un concepto que en el proceso de formación de profesionales se debe trabajar con sumo cuidado y para dicha labor se requiere de herramientas que posibiliten su comprensión.

En cuanto a competitividad en términos de un país, el concepto es el mismo, un aumento de la capacidad de producción de un país, permite incrementar el nivel de prosperidad de los ciudadanos en el presente, y también establecer las bases de la prosperidad futura.

El mantenimiento de la competitividad reside principalmente en cuatro pilares (María Noel Laborde y Leonardo Veiga. Leonardo Veiga 2010):

1. El buen funcionamiento de las instituciones públicas y privadas.
2. El desarrollo acertado de infraestructuras.
3. Un entorno macroeconómico estable.
4. Una fuerza laboral saludable y formada o capacitada.

En el texto “Marketing: fuente de competitividad”, realizado por Ileana Díaz, profesora del Centro de Estudios de Técnicas de Dirección de la Universidad de la Habana, se pueden encontrar definiciones, relacionadas con la competitividad, como éstas:

- “La capacidad de un país para alcanzar los objetivos centrales de la política económica, especialmente el crecimiento de la renta y del empleo, sin incurrir en dificultades de la balanza de pagos. Fagerberg, (1988)”.
- “...la capacidad de un país para sostener y expandir su participación en los mercados internacionales, y elevar simultáneamente el nivel de vida de su población. Esto exige el incremento de la productividad y, por ende, la incorporación del progreso técnico.” Fajnzylber (1988).

En el trabajo mencionado también se pueden encontrar diferentes definiciones de la competitividad en el marco empresarial, pero debido a las características iniciales del videojuego que se propone, es de mayor interés la definición de competitividad de las naciones, ya que el jugador

podrá incidir directamente en los diferentes factores de desarrollo.

II. METODOLOGÍA

Para desarrollar una ALA que relacione los factores de desarrollo ya mencionados se está diseñando un videojuego que pueda evidenciar la influencia de estos en la generación de las condiciones de vida de una población, lo cual estará determinado por el uso que se haga de los recursos naturales y el aprovechamiento del talento humano.

Con este videojuego interesa propiciar reflexiones en torno a la productividad y la competitividad, sus diferentes concepciones y aplicaciones, y cómo éstas impactan en el logro de los objetivos de las diversas organizaciones sociales; además se pretende observar algunos vínculos con diferentes modelos de desarrollo.

Para ello se hace uso de un sistema ideal, con factores poco complejizados que permitan establecer relaciones causales entre ellos, mediante el diagrama causal, teniendo en cuenta que éste permite evidenciar la naturaleza estructural del sistema dinámico e identificar sus variables, además de establecer las relaciones de influencia entre sus componentes (Aracil, 1995). Esta información permite hacer una representación simplificada e idealizada de los factores, sin perder de vista que este modelo debe ser preciso, completo y consistente con el conocimiento científicamente aceptado (Moreira, Greca, & Rodríguez Palmero, 2002).

Para que el videojuego a diseñar tenga el impacto que se busca, es necesario que al modelo inicial se le añada complejidad de manera gradual, hasta obtener un modelo que pueda vincular los factores como subsistemas, cada uno con una dinámica propia, pero condicionada por el funcionamiento de los demás; posteriormente se realizarán simulaciones controladas, con el fin de poner de manifiesto la interacción de los diferentes subsistemas y visualizar la forma en que la estructura diseñada condiciona el comportamiento del sistema general (O’connor y McDermott, 1998), e incide en el proceso de toma de decisiones. Es esta información la que permite cotejar el comportamiento del modelo diseñado, con relación al comportamiento del sistema en la realidad y establecer los niveles de complejidad que debe tener el videojuego.

4.1 Entorno del juego

"Para que la humanidad pueda administrar y compartir recursos de una manera justa y equitativa, los sistemas de gobierno deben ser más sensibles e incluyentes... Necesitamos sistemas de gobierno que respeten los derechos humanos y el imperio de la ley y que deliberadamente promueven la equidad."
 Professor Wangari Maathai: What does Africa need to deal with climate change?

El juego utopía tiene un propósito, el cual es alcanzar el máximo desarrollo de la comunidad de una forma equilibrada y lógica donde se tenga en cuenta la sostenibilidad del medio.

El juego tiene unos factores de desarrollo -Salud, Educación, Orden público, Industria y Desarrollo Urbano- y unos recursos - Madera, Agua, Alimentos, Hierro y Barro-, el papel del jugador está centrado en la toma de decisiones relacionadas con el aumento del nivel de cada uno de estos factores y recursos a través de las inversiones que realiza, es decir, conforme avanza el juego el participante decidirá haciendo uso de la información relacionada con cada una de sus inversiones y al final se realizarán las conclusiones de si el método utilizado si cumplió las expectativas, es decir, si alcanzó el máximo crecimiento de sus factores, con el equilibrio deseado.

El equilibrio se basa en el círculo virtuoso que se puede establecer debido a que el crecimiento de los factores promueve el desarrollo humano a medida que la base de recursos se amplía, en tanto que un mayor desarrollo humano genera más crecimiento a medida que una población más sana y educada contribuye a mejorar el desempeño económico (Gustav & Stewart, 2002). "Las soluciones implican nuevos modelos que, por encima de todo, comienzan a aceptar los límites de la capacidad de carga de la Tierra: un movimiento de la eficiencia a la suficiencia y el bienestar." (Neef, 2009).

De manera genérica se puede plantear la situación donde una comunidad está demandando un bien social determinado. Sin embargo, para la producción de este bien, es necesaria la explotación del recurso A, que constituye un insumo.

El diagrama causal siguiente ilustra esta situación.

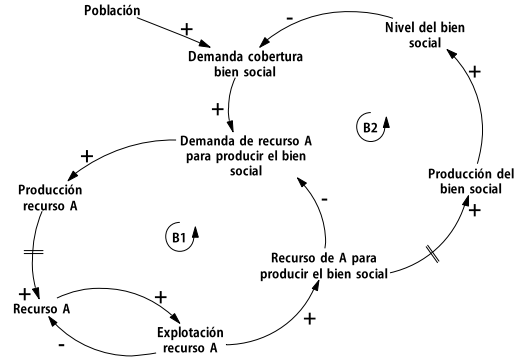


Figura 23. Diagrama causal recurso – bien social

Donde la explotación del recurso A se torna en un factor determinante para que la producción del bien social sea dada. A esta situación básica se le debe agregar la situación de que para producir el bien social demandado, no sólo es necesario el recurso A, sino también el B, C, D y E, y que para producir A, se necesitan ciertas unidades de B o de cualquiera de los otros recursos.

Esta situación se ilustra en el siguiente diagrama causal, en el cual para producir recurso A, se requiere de una producción del recurso B.

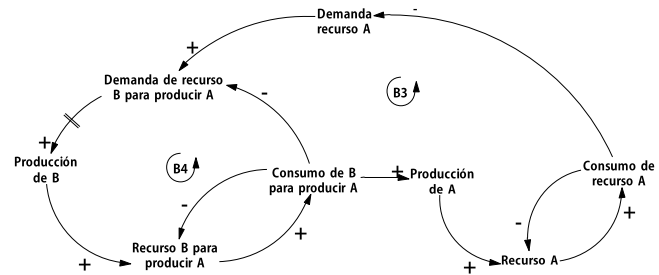


Figura 24. Diagrama causal interacción del recurso A y B

Una situación hipotética de esta situación modelada con Ithink tendría una estructura de flujos y niveles de la siguiente forma. Donde el consumo de los recursos se agotaría de acuerdo con una trayectoria sigmódea.

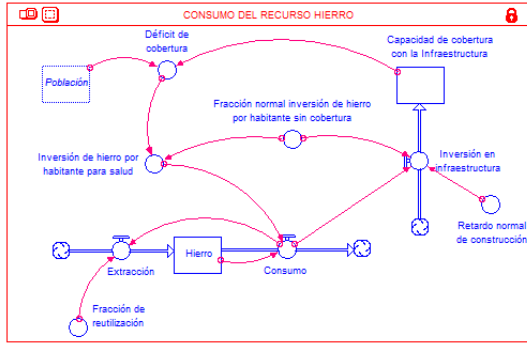
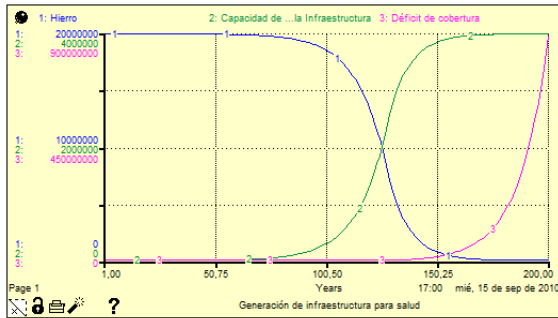


Figura 25. Diagrama de flujos y niveles recurso - bien social



Gráfica 1. Interacción recurso - bien social - cobertura

Planeado todo lo anterior dentro de un juego, requiere de otro tipo de condiciones. Inicialmente todos los jugadores comenzarán con un nivel cero, el cual aumentarán progresivamente. Cada factor y recurso se incrementará individualmente. Para facilitar los cálculos necesarios se emplea el uso de una plataforma donde con un simple click se puede observar qué ocurre con los demás elementos si se decide aumentar un nivel en un factor o recurso. En el caso de la salud (se decide aumentar el nivel) el jugador va a la plataforma en la zona de “niveles” decide el nivel a avanzar (1, 2, 3,4 o 5), y automáticamente el software mostrará los cambios que hay en sus recursos.



Figura 26. Zona de niveles

Si el jugador decide aumentar un nivel en salud, la proporción de habitantes con acceso al sistema general de seguridad social en salud (SGSSS) aumentará y por ende los que no disminuirán, obviamente esto depende en gran proporción de la cantidad de habitantes que tiene en su población.

Si el jugador aumenta un nivel y después de ver el resultado ve que no es la más conveniente, puede elegir no aumentarlo y sencillamente no habrá

tomado una decisión. (En el caso en que se desea disminuir de nivel, el jugador no podrá hacerlo). Si el jugador desea aumentar el nivel pero no tiene los recursos necesarios en la pantalla le aparecerá que no tiene la cantidad de recursos solicitados para poder aumentar su factor.

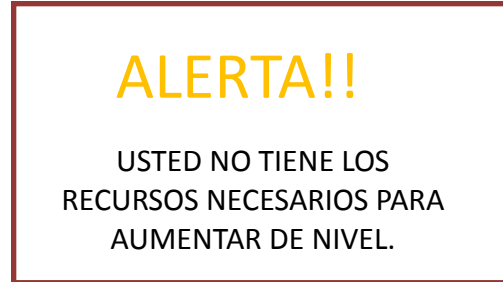


Figura 27. Mensaje de alerta

Tal como está descrito anteriormente, el entorno del juego tiene una gran similitud con los juegos de estrategia ya conocidos popularmente, sin embargo, el valor agregado se encuentra en la orientación al campo educativo, que permite adelantar el proceso de enseñanza aprendizaje de manera activa, haciendo uso de las tecnologías de la información y comunicación TIC y aprovechando la tendencia de los jóvenes a participar en videojuegos multiusuario. De acuerdo con los objetivos de este trabajo, el videojuego debe ser desarrollado en varias etapas incrementando gradualmente los niveles de servicio que presentaría, en etapas iniciales se espera brindar un entorno simple, con gráficos que permitan la identificación de los diferentes elementos pero sin mayores animaciones. En fases más avanzadas, se espera establecer un entorno con mayores niveles de detalle, que permita incluso el diseño de las plantas de producción de los diferentes recursos de que dispone la comunidad, teniendo en cuenta factores de ubicación, transporte e incluso de inventarios.

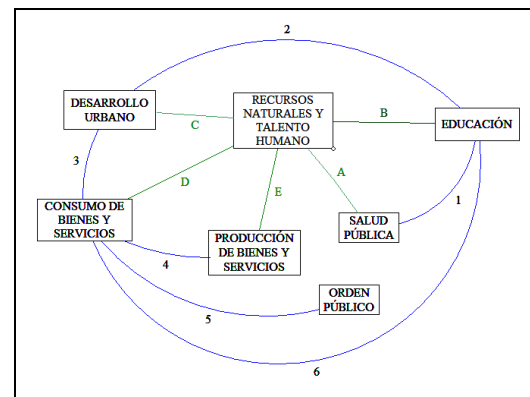


Figura 28. Interacción recursos y bienes sociales

Para ejemplificar de una mejor manera el entorno anteriormente descrito, se incluye un diagrama causal

(Figura 1) en el que se evidencian las relaciones bidireccionales entre los factores de desarrollo planteados (educación, salud pública, desarrollo urbano, orden público, producción y consumo de bienes y servicios), relaciones simbolizadas con las líneas azules y numeradas (1, 2, 3, 4, 5 y 6). También se simboliza con líneas verdes nominadas con letras (A, B, C, D y E), las relaciones bidireccionales de cada factor con los recursos naturales y el talento humano, los cuales son necesarios para los procesos de transformación inherentes al desarrollo de la comunidad.

Resultados esperados

Con el desarrollo de este videojuego se espera hacer uso de un modelo de Dinámica de Sistemas para potenciar las capacidades y la sensibilidad hacia los problemas sistémicos de recursos, y además propiciar un entorno agradable para el adelanto de reflexiones direccionadas a la generación de conciencia frente a la toma de decisiones, relacionadas con la explotación de los recursos y la necesidad de generar condiciones de vida apropiadas para la comunidad, de manera que el crecimiento de los bienes materiales sin generar daños, permita el crecimiento de los bienes sociales.

Por otro lado, la explicación desde la Dinámica de Sistemas potencia el uso de esta herramienta y permite direccionar el pensamiento sistémico en pos de soluciones cada vez más cercanas a la realidad, que permitan satisfacer las necesidades humanas más oportunamente y definir las acciones a seguir contemplando los efectos que tendrán en el futuro, de manera que no se ponga en riesgo la supervivencia de las futuras generaciones y se adopte la cultura de la evaluación prospectiva.

Por último, se espera que con el uso de la Dinámica de Sistemas el modelo adelantado sea escalable, de manera que puedan insertarse nuevos modelos que expliquen de mejor manera las relaciones entre diferentes recursos y bienes sociales de modo que se establezca un juego evolutivo que se acerque paulatinamente a la realidad actual de la humanidad, el cual podría contar con un sinnúmero de roles para jugadores de todas partes del mundo, que contribuyan a su perfeccionamiento, consolidando así comunidad académica y propiciando cada vez más y mejores reflexiones.

Citas y referencias

ARACIL, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Gráficas Marte S.A.

AUSUBEL, D., NOVAK, J., & HANESIAN, H. (1997). *Psicología educativa: Un punto de vista cognitivo*. México: Trillas.

BENITO, A. y. (2005). *Nuevas claves para la Docencia Universitaria en el Espacio Europeo de Educación Superior*. Madrid: Narcea.

Bohórquez, F., & Corchuelo, M. (2005). Currículo y Pedagogía en Perspectiva. *Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa, Iered*, 1-14.

CASTRO, D. (2009). Jugando a entender el Desarrollo: Un modelo en Dinámica de Sistemas. *Memorias 3er Simposio internacional de Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas tendencias*.

ESNAOLA HORACEK, A., & LEVIS, D. (2008). La narrativa en los videojuegos: un espacio cultural de aprendizaje socioemocional. *Revista Electrónica Teoría de la Educación. Vol.9. No.3*, 48-68.

ESTEVA, G. (1996). Desarrollo. En W. Sachs, *Diccionario del Desarrollo: Una Guía del Conocimiento como Poder* (págs. 52-78). New Jersey: Zed Books Ltd.

GUSTAV, R., & STEWART, F. (2002). Crecimiento económico y desarrollo humano en América Latina. *Revista de la CEPAL No 78*, 7-24.

ILLICH, I. (1996). Necesidades. En: W. Sachs, *Diccionario del Desarrollo: Una Guía del Conocimiento como Poder* (págs. 157-175). New Jersey: Zed Books Ltd.

MAX NEEF, M. (1993). *Desarrollo a escala humana. Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*. Santiago de Chile: Nordan-Comunidad.

MOREIRA, M. A., GRECA, I. M., & RODRÍGUEZ PALMERO, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências, Vol 2, No. 3*, 37-57.

5. BIBLIOGRAFÍA

ARACIL, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Gráficas Marte S.A.

AUSUBEL, D., NOVAK, J., & HANESIAN, H. (1997). *Psicología educativa: Un punto de vista cognitivo*. México: Trillas.

BENITO, A., & CRUZ, A. (2005). *Nuevas claves para la docencia universitaria en el espacio europeo de educación superior*. Madrid: Narcea.

BOHÓRQUEZ, F., & CORCHUELO, M. (2005). Currículo y Pedagogía en Perspectiva. *Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa, Iered*, 1-14.

CASTRO, D., BARRIENTOS, L. M., & AYALA, Á. (2009). Jugando a entender el desarrollo: Un modelo en Dinámica de Sistemas. *Memorias 3er Simposio internacional de Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas tendencias*

ESNAOLA HORACEK, A., & LEVIS, D. (2008). La narrativa en los videojuegos: un espacio cultural de aprendizaje socioemocional. *Revista Electrónica Teoría de la Educación. Vol.9. No.3*, 48-68.

ESTEVA, G. (1996). Desarrollo. En: W. Sachs, *Diccionario del Desarrollo: Una Guía del Conocimiento como Poder* (págs. 52-78). New Jersey: Zed Books Ltd.

GARCÍA DEL VALLE, T., & PUERTA GIL, C. (2008). Comparación temporal del desarrollo mediante un índice cuantitativo. *Revista de Economía Mundial Vol 18*, 105-114.

GUSTAV, R., & STEWART, F. (2002). Crecimiento económico y desarrollo humano en América Latina. *Revista de la CEPAL No 78*, 7-24.

ILLICH, I. (1996). Necesidades. En: W. Sachs, *Diccionario del Desarrollo: Una Guía del Conocimiento como Poder* (págs. 157-175). New Jersey: Zed Books Ltd.

MAX-NEEF, M. (1993). *Desarrollo a escala humana. Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*. Santiago de Chile: Nordan-Comunidad.

MOREIRA, M. A., GRECA, I. M., & RODRÍGUEZ PALMERO, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências, Vol 2, No. 3*, 37-57.

PONCIANO, K. (2008). ¿Tiene historia el "desarrollo"? *Revista Futuros. No 20, Vol.6*.

RIST, G. (2002). El desarrollo: historia de una creencia occidental. En: G. Rist, *El desarrollo: historia de una creencia occidental* (págs. 2-3). Madrid: Los libros de la Catarata.

ROMERO MARQUES, H. (2009). Desarrollo a Escala Humana. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana, Vol 8, No 22*, 137-158.

TORRES SOLÉ, T., & ALLEPUZ CAPDEVILA, R. (2009). El desarrollo humano: perfiles y perspectivas futuras. *Estudios de Economía Aplicada, Vol 27, No 2*, 545-562.

ANDREW SIMMS, (2009). Other worlds are possible

Human progress in an age of climate change
BLANKE, Jennifer, The Global Competitiveness Report 2009–2010, HYPERLINK "<http://www.weforum.org/en/initiatives/gcp/Global%20Competitiveness%20Report/index.htm>"

APLICACIONES INDUSTRIALES

Modelo del mercado inmobiliario – CABA.

Model of the housing market – CABA.

(1) Édgard Hernán Maimbil, Lic., (2) Andrés Caminos, Ing.

(1) Docente Investigador – Universidad Argentina de la Empresa (UADE), mail:
tinymaimbil@gmail.com

(2) Docente Investigador – Universidad Argentina de la Empresa (UADE), mail:
acaminos@uade.edu.ar

Facultad de Ingeniería (FAIN) – Instituto de Tecnología (INTEC) – Universidad UADE - Ciudad
Autónoma de Buenos Aires – Argentina.

Resumen: El dinamismo de la industria de la construcción en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (capital de la República Argentina) es de elevada importancia para el nivel de actividad de la economía local, siendo el motor impulsor de un gran número de actividades conexas complementarias, por lo que concita el interés de diferentes actores: desarrolladores de emprendimientos inmobiliarios, constructores, proveedores, inversionistas, bancos, organismos oficiales reguladores de la actividad y prestadores de servicios complementarios. Como en toda economía desregulada, el mercado inmobiliario conformado principalmente por unidades habitacionales, locales comerciales y oficinas, tiene un comportamiento condicionado por la oferta y la demanda.

El presente trabajo de investigación del comportamiento del mercado inmobiliario en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, se basa en la interrelación de dos dinámicas mutuamente dependientes: la que determina la superficie construida y la que determina la formación del precio por metro cuadrado construido. Donde los principales factores involucrados son: el atractivo en términos de rentabilidad de los tenedores de capital circulante interno, la evolución del PBI relacionada a la capacidad de ahorro tanto del sector inversor como el comprador, el costo de la construcción, el factor clave para la decisión de construir o comprar determinado por el índice Q y el ingreso de capital externo volcado al sector.

La disciplina basada en la Dinámica de Sistemas nos permite construir un modelo factible de ser operado por computador con el objeto de simular el impacto que en el comportamiento del mercado inmobiliario tienen las decisiones derivadas de políticas de incentivo al sector, la evolución futura del precio de construcciones nuevas y las consecuencias en el precio y actividad del mercado secundario vinculado.

Palabras Clave: modelo, comportamiento, precio, costos, simulación, dinámica, construcción, capital.

Abstract-The dynamism of the construction industry in the Autonomous City of Buenos Aires (capital of Argentina) is of great importance to the activity level of the local economy, being the driving force behind a number of related complementary activities, that arouses the interest of different stakeholders: housing developers ventures, builders, suppliers, investors, banks, government agencies regulating the activity and complementary service providers. As in any unregulated economy, the housing market made up primarily of residential units, commercial premises and offices, has a behavior determined by supply and demand.

The present investigation of the behavior of the real estate market in the Autonomous City of Buenos Aires, is based on the dynamic interaction of two mutually dependent: which determines the floor area and determines the formation of the price per square meter. Where the main factors are: the attractiveness in terms of return of domestic capital holders, the evolution of GDP linked to the savings capacity of the sector investor and buyer, the cost of construction, the key factor to build or buy decision, determined by the index Q, the inflow of foreign capital poured into the sector. The discipline based on the system dynamic allows us to build a workable model to be operated by computer in order to simulate the impact on housing market behavior of the decisions arising from policy incentives to industry, the future evolution of the price new construction and the impact on the price and secondary market activity linked.

Key words: model, behavior, price, costs, construction, capital, simulation, dynamic.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN:

El sector de la construcción en Argentina es siempre dinamizador de actividades conexas, como ser: la industria del cemento, el hierro, la cerámica, yeso, perfiles de aluminio, vidrio, mampostería en general y de empresas menores prestadoras de servicios (sub-contratistas) a la construcción: plomería, electricidad, gas, aguas, acabado, pintura, etc. Las que en el mercado argentino son competitivas en precio, calidad de servicio y disponibilidad de mano de obra, por lo que el acceso a los mismos no representa restricción alguna para el desarrollo del sector.

Distinto es lo atinente a regulaciones estatales: nacionales y provinciales. Producto del creciente nivel de actividad experimentado por el sector en los últimos años, el Estado centraliza políticas de recaudación fiscal en esta dirección, sancionando un sinnúmero de normas fiscales para controlar y regular su normal desenvolvimiento. Por lo que el ciclo comprendido desde la concepción hasta la finalización de todo proyecto de construcción inmobiliaria cuenta con restrictivas normas reguladoras que exigen una multitud de trámites y gestión de permisos habilitantes que representan un esfuerzo adicional importante en toda iniciativa de inversión en el sector, desde la regulación de metrajes en altura de construcción según la zona de interés, pasando por dificultosas gestiones de acceso a servicios primarios, hasta exigentes declaraciones de orígenes de fondos siempre sometidos a la sospecha penal tributaria donde la AFIP es un escollo por salvar, amén de innumerables tasas de seguros, impuestos derivados de pagos y cobros y aranceles de control y gestorías múltiples.

El nivel de rivalidad (competencia entre jugadores del sector) no representa una restricción importante toda vez que el segmento de interés no se centre en la obra pública, donde la actividad está fuertemente condicionada por la discrecionalidad gubernamental. La Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Capital Federal de la República Argentina) concentra el mayor volumen de operaciones inmobiliarias en el país, siendo por ello el mercado de referencia en la formación del precio promedio del metro cuadrado de construcción operante en el mercado regido por la oferta y la demanda de bienes inmuebles.

La construcción de un modelo que simule el comportamiento del mercado inmobiliario de la CABA, tiene por objeto:

1. Analizar la evolución del mismo en términos de precios y área de construcción, frente a la variabilidad de los parámetros que definen su comportamiento.

2. Ensayar decisiones alineadas con políticas de estímulo al sector y observar en un horizonte de tiempo objetivo el impacto de sus implementaciones.
3. Simular diferentes escenarios de realizaciones posibles orientados a evidenciar resultados consecuentes.

La Dinámica de Sistemas ofrece para ello un marco disciplinario adecuado y herramientas de modelado y simulación que permiten alcanzar los propósitos especificados.

2. EL MERCADO INMOBILIARIO

2.1 VARIABLES QUE AFECTAN AL MERCADO INMOBILIARIO:

Las principales variables (entre otras) que tienen fuerte impacto en el mercado inmobiliario, por ser las que interactúan en la decisión de inversión en construcción tanto como en la compra-venta de inmuebles, se pueden resumir en los siguientes:

- Estabilidad de precios: que considera el arrastre inflacionario, donde el costo de la construcción por metro cuadrado da el piso natural de referencia, medido en moneda nacional.
- Estabilidad del dólar: en razón de que establece la referencia preferida por los distintos jugadores del mercado en la fijación real del precio de oferta, a la vez que se constituye como factor de relación consistente entre costo y precio en una economía inflacionaria.
- El PBI: cuya variación determina en parte el atractivo para la inversión, cualquiera sea la actividad, especialmente en aquellas que involucran decisiones de largo plazo.
- Ingreso promedio de la población: en particular importa la relación entre salario promedio y el costo del m² de construcción.
- Ratio Q: relación entre precio de venta y el costo de construcción tomados por metro cuadrado de construcción nueva, que determina el margen de beneficios, el tiempo de retorno de la inversión y el nivel de actividad dado que es un indicador de observación tanto para el inversor como motor generador de la oferta como para el comprador desde la perspectiva de la demanda.
- Tasa de interés: variable de baja influencia en el mercado inmobiliario actual en virtud de que las operaciones del sector están fuertemente dominadas por capitales disponibles, siendo baja la incidencia del crédito hipotecario como herramienta de uso frecuente, pero necesaria de considerar como referencia del rendimiento de la inversión, y el establecimiento de políticas de estímulo en el futuro.

- Expectativas de la gente: considerando factores tales como la intención de ahorro en bienes inmobiliarios y satisfacción de la necesidad de acceso a la vivienda propia, que incide en la configuración de la demanda.
- Flujo de capital externo: movilizado por la variación anual del producto interno bruto, la rentabilidad del sector y el tiempo de retorno de la inversión.

2.2 DIFERENCIACIONES EN EL SECTOR

Importa destacar que la actividad del sector de la construcción en Argentina debería distinguirse entre:

1. La inversión pública, fuertemente orientada a obras de infraestructuras, servicios públicos y viviendas familiares.
2. La inversión privada. Que además se puede desagregar como:
 - a. Viviendas.
 - b. Inversiones de empresas.

La construcción pública, discriminada en distintos rubros de infraestructura, es la que se efectúa con los recursos fiscales, con el financiamiento interno o con el financiamiento externo necesarios.

En cuanto a la posibilidad de acceso al crédito interno y externo no se percibe su disponibilidad adecuada en magnitud, en plazos y en condiciones viables.

Por el contrario, en lo referente a las inversiones privadas son más predecibles las empresarias cuyo dinamismo se asienta en el autofinanciamiento, no en el crédito, mientras que las familiares en los últimos años han sido estimuladas con recursos disponibles por vía de la constitución de fondos fiduciarios de desarrollo de emprendimientos inmobiliarios, que no se volcaron ni a comprar divisas ni a colocaciones bancarias, con una marcada tendencia de pseudo atesoramiento en especie, por lo que es válido pensar en una desaceleración de la misma por agotamiento de la capacidad de ahorro o nivel de disponibilidad de excedentes.

3. EVOLUCIÓN DE INDICADORES DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y EL MERCADO INMOBILIARIO

Se toma como base de referencia para el análisis el periodo comprendido entre los años 1993 y 2008 para evaluar la marcha de los indicadores generales, el periodo 2001-2008 para ajustar los parámetros del modelo base que refleje el comportamiento actual, y el periodo 2009 para validarlo.

La evolución del PBI tomado a valores constantes de 1993 y convertido a US\$, **Figura 1: PBI – US\$ CONSTANTE 1993**, presenta un leve crecimiento hasta el 2001, en el 2002 acontece la salida de la convertibilidad donde se produce una caída abrupta

de valoración afectado por el tipo de cambio no por el nivel de actividad. A partir del 2002 comienza un periodo de recuperación paulatino y sostenido.

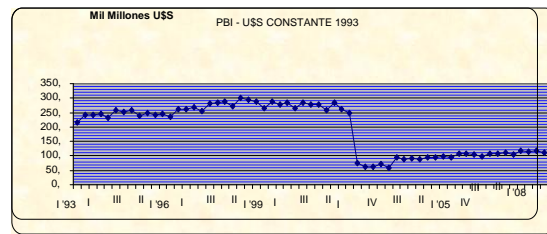


Figura 1: PBI – US\$ CONSTANTE 1993

En la **Figura 2: PBI Sector de la construcción – US\$ constante 1993**, se puede apreciar que el PBI del sector de la construcción (en términos generales) sufre una desaceleración a partir del año 1999 hasta el año 2002. A partir del año 2002 se inicia su recuperación sostenida por aumento en el nivel de actividad del sector, impulsado principalmente por la inversión privada con ingreso de capitales extranjeros y una fuerte transferencia del ahorro en productos bancarios a la colocación en el sector de la construcción como fuente de rentabilidad más atractiva y segura, teniendo mayor ritmo de crecimiento que el PBI Nacional.

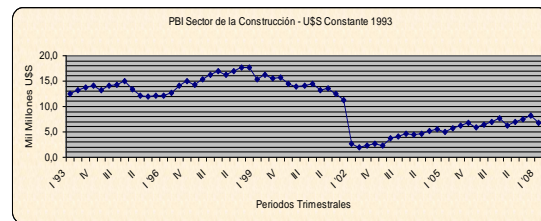


Figura 2: PBI sector de la construcción – US\$ constante 1993

Esta situación se puede apreciar a partir de observar la participación del PBI del sector de la construcción respecto del PBI nacional mostrado en la **Figura 3: PBI sector de la construcción – US\$ constante 1993**

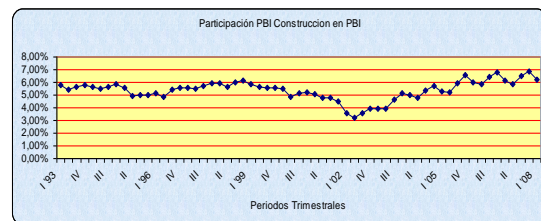


Figura 3: PBI sector de la construcción – US\$ constante 1993

La importancia de la Inversión Bruta Interna en el sector de la construcción es apreciable comparándola con la Inversión Bruta Interna general, donde se observa su mayor peso relativo a partir del 2002,

como lo evidencia la **Figura 3: IBI Vs. IBI_construcción**

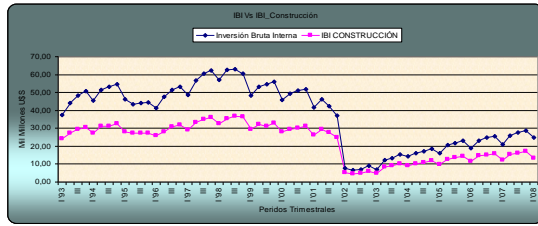


Figura 3: IBI Vs. IBI_construcción

En la **Figura 4: Precios Vs. Costos**, donde se observa la evolución del precio vs. costo del m2 de la construcción (zona testigo: área 1 de CABA) permite apreciar que luego de un periodo de relativa estabilidad entre el nivel de precios y costos desde 1992 hasta 2001, al producirse la salida de la convertibilidad en el año 2002, los precios se incrementan a un ritmo superior a los costos, debido principalmente a un incremento de la demanda de unidades habitacionales y oficinas de categoría superior buscada por personas que acumulan excesos de rentabilidad en actividades vinculadas al sector agropecuario y en menor medida al sector industrial, hasta mediados del 2008.

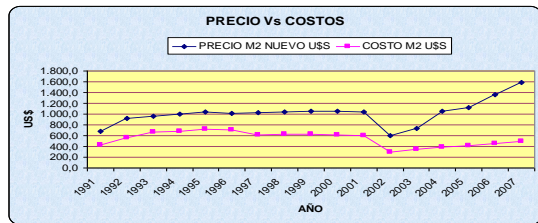


Figura 4: Precios Vs. Costos

Esta importante brecha entre el precio y el costo sumado al cambio de hábito de ahorro en la Argentina, genera en el sector de la construcción inmobiliaria un importante aumento en su nivel de actividad como se aprecia en el porcentaje creciente de superficie permitada para la construcción en la CABA hasta mediados del 2007, evidenciado en la **Figura 5: Superficie Permisada – Base 1993.**

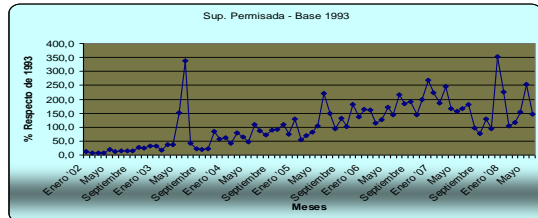


Figura 5: Superficie Permisada – Base 1993.

En términos reales referidos a la superficie en M² que se autorizó a construir entre los años 2001 y 2008 se observa una tendencia creciente mostrado en la **Figura 6: Superficie Autorizada a Construir.**

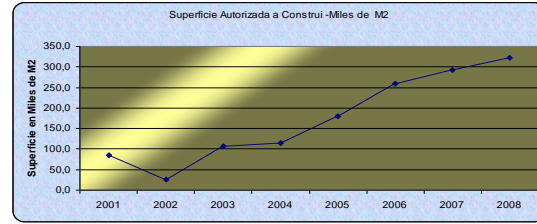


Figura 6: Superficie Autorizada a Construir.

Crecimiento que también es validado por el Índice Sintético de Actividad de la Construcción, que marca un importante repunte desde fines del 2002, como se aprecia en la **Figura 7: Evolución del ISAC**

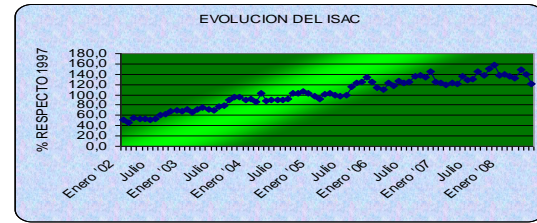


Figura 7: Evolución del ISAC

Otro indicador importante a tomar en cuenta es el Ratio "Q" mostrado en la **Figura 8: Evolución del RATIO Q**, que permite obtener una medida del estímulo a construir frente a la alternativa de comprar construido. El Ratio Q se compone de la relación entre el valor promedio de los precios en dólares de departamentos nuevos Vs. el costo en dólares de construir un M² (con el que se representa el costo de reposición) sin contar el valor del terreno. Su importancia radica en poder apreciar la preferencia de quien poseyendo capital habrá de tomar la decisión de comprar o construir por sí.

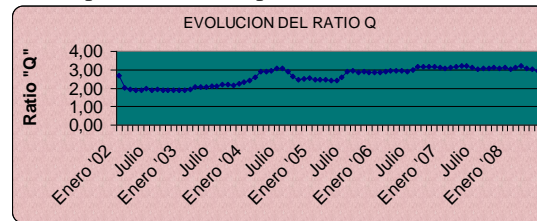


Figura 8: Evolución del RATIO Q

La demanda compradora opera según el atractivo del precio relacionado con su poder de compra impulsado por la posibilidad de satisfacer una necesidad, en este sentido juega un rol importante el nivel del salario promedio de la economía formal porque es de esperarse que en el futuro inmediato la vía del crédito hipotecario sea un camino válido para dinamizar la actividad de compra de inmuebles con destino al uso familiar.

En la **Figura 9: Índice de Salario Real en términos del M2 de vivienda** se puede observar la evolución del salario promedio medido en términos del precio

del M^2 de la construcción en el periodo 2006-2008, donde se evidencia que el poder adquisitivo del salario alcanza comparativamente para adquirir entre un 44% y un 53% del valor del M^2 de un bien inmueble nuevo, por lo que la posibilidad de acceso al crédito a largo plazo para los compradores será un factor que cobrará mayor preponderancia en el mercado, ya que el poder de compra en ladrillos todavía se encuentra a mitad de camino respecto de los niveles registrados en 1997 que es el periodo considerado como base en la figura 9:



Figura 9: Índice de salario real en términos del M^2 de vivienda

Todos los datos han sido obtenidos del INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo – República Argentina).

4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE COMPORTAMIENTO DEL MERCADO INMOBILIARIO DE LA CABA

4.1 BASE ANALÍTICA:

El enfoque sistémico para la comprensión de la realidad a modelar, con el objeto de construir un modelo dinámico que emule el comportamiento del sistema objeto de estudio, requiere:

1. Observación analítica de la realidad para acotar el universo de variables interactuantes solo a aquellas que identifiquemos como relevantes.
2. La formulación de las hipótesis en las cuales basar el desarrollo de las dinámicas analizadas.
3. Identificación de los subsistemas, parámetros de entradas y variables claves que interactúan en la definición de las variables de resultados deseadas.
4. La construcción del modelo propiamente dicho, basado en una plataforma de software específica que permita observar el comportamiento temporal del sistema.
5. Análisis de los resultados obtenidos por simulación del comportamiento que permita validar las hipótesis formuladas a partir del caso base de referencia.
6. Ajustes iterativos de los parámetros (drivers) que basados en datos de un adecuado horizonte de tiempo pasado arroje resultados consistentes confirmatorios de las variables de resultados del modelo.

7. Efectuar análisis de sensibilidad con base en la formulación de escenarios configurados a partir de expectativas futuras.

Alineados con este enfoque, en el comportamiento del mercado inmobiliario se identifican a priori las siguientes variables relevantes:

- C = capital anual disponible para inversión inmobiliaria.
- p = precio del m^2 , equilibrio entre oferta y demanda.
- c = costo de construcción del m^2 (NO incluido el valor del terreno).
- A = área construida.
- q = p/c; relaciona el precio del m^2 de oferta con el costo de construcción del m^2 ofertado, factor que condiciona la percepción de riesgo del negocio en el sector de la construcción.

El criterio que nos permite identificar las hipótesis dinámicas a formular se basa en el siguiente análisis:

La relación entre el capital disponible en la población y el área construida es la condicionante a priori del precio posible del m^2 de construcción ofertada.

$$\circ \text{ precio del } m^2 \sim \text{Población} * S / A.$$

Donde S es el salario medio.

Como aproximación inmediata, es válido considerar que: Población * S es el PBI (Producto Bruto Interno). Por lo tanto, el precio del m^2 de construcción guarda una relación de proporcionalidad con la razón PBI/A:

$$p \propto \frac{PBI}{A} \quad (1)$$

Conociendo la evolución en el tiempo de las tres variables, podemos obtener los valores temporales correspondientes a la relación:

$$\frac{PBI}{Ap}$$

Las tres variables consideradas en la expresión son dependientes del instante de tiempo en que se las registra, siendo razonable asumir que el factor de relación entre ellas no será constante, siendo su variabilidad un elemento inherente a efectos dinámicos.

Una ecuación en demora simple con la cual representar su función de estado es:

$$\tau_p \dot{p} = \tau_{PBI} \frac{PBI}{A} - p \quad (2)$$

Una primera consideración es asumir que la inversión inmobiliaria se compone de dos partes: una es la fracción destinada a la compra, y otra es la fracción destinada a la construcción.

La fracción H de la inversión destinada a la construcción podemos representarla por medio de

una función sigmoidea de $q = p/c$. Función que toma valores entre 0 (para $q=0$) y tiende a 1 para $q > 1$, de modo que esta consideración se incorpora a la expresión (2) por medio del parámetro de igualación alfa:

$$\begin{aligned} \tau_p A \dot{p} &= \tau_{PBI} \alpha PBI \left[1 - H(q) \right] - Ap \\ \dot{A} &= \alpha \frac{PBI}{c} H(q) \end{aligned} \quad (3)$$

Donde α es un parámetro positivo menor que 1 e indica la fracción del PBI que se destina a bienes inmobiliarios en concepto de inversión en construcción (en la expresión (2) está absorbida en τ_{PBI}).

Una extensión a este análisis es considerar el ingreso de capitales externos con destino al mercado inmobiliario, que se puede considerar atraído por el crecimiento del PBI.

El capital anual disponible para inversiones inmobiliarias incorporando esta extensión, será ahora:

$$C = \alpha PBI + \tau_E \dot{PBI} \quad (4)$$

Constituido por un componente local (fracción del PBI) y otro de origen externo expresado como proporción de la variación del PBI.

Incorporando esta extensión en la expresión (3), las ecuaciones para p y A resultan:

$$\begin{aligned} \tau_p A \dot{p} &= \tau_c \left[1 - H(q) \right] C - Ap \\ \dot{A} &= \frac{C}{c} H(q) \end{aligned} \quad (5)$$

Igualando ambas formulaciones por medio de C , y considerando un estado cuasi estacionario (con lo cual $\tau_p \approx 0$), obtenemos una expresión de función sigmoidea H dependiente de q :

$$H(q) = \frac{1}{1 + \frac{A}{\dot{A} \tau_c} q} \quad (6)$$

De manera que conociendo $A(t)$ (evolución del área construida en el tiempo) y $q(t)$ (evolución temporal de la relación precio/costo) puede estimarse $H(q)$.

Analizando H , su expresión confirma lo asumido para su definición en razón de que:

- Cuando $q < 1$; el ritmo de construcción tiende a 0 por efecto de la falta de inversión, con lo cual $H(q)$ se anula.
- Cuando $q \gg 1$; $H(q) \rightarrow 1$ con lo cual el crecimiento del área construida queda fuertemente determinado principalmente por q , como se observa en la siguiente expresión (resulta de operar convenientemente (6)):

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{1}{\tau_c} \frac{qH(q)}{1 - H(q)}$$

De este modo estamos en condiciones de postular dos hipótesis dinámica, basadas en las variables anteriormente definidas, que contienen los subsistemas interdependientes en el comportamiento del modelo inmobiliario:

H1: Hipótesis dinámica del mercado transaccional regido por la Elasticidad Precio

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\alpha PBI \left[1 - H(q) \right]}{A} - \tau_p$$

H2: Hipótesis dinámica de la construcción

$$\frac{dA}{dt} = \alpha \frac{PBI}{c} H(q)$$

Ambos subsistemas, afectados por el componente de capital de inversión externo:

$$C_E = \tau_E \dot{PBI}$$

$$C = \alpha PBI + C_E$$

Quedan definidos como:

$$\tau_p A \frac{dp}{dt} = \tau_c \left[1 - H(q) \right] C - Ap$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{C}{c} H(q)$$

4.2 EL MODELO BASE:

El modelo construido sobre la plataforma Ithink, con las dinámicas expresadas que contemplan las definiciones de los parámetros, variables y relaciones causales se representa en la **Figura 10: Modelo Base Sintético**, donde:

- **tc**: factor de capital local.
- **tp**: factor de precio local.
- **alfa**: factor de proporción del PBI destinado al mercado inmobiliario
- **te**: factor de capital externo en proporción de la variación del PBI ingresado al mercado inmobiliario.
- **q_ratio**: relación entre el precio y el costo por m^2 de la construcción.
- **Fracción de inversión en construcción**: composición de la función $H(q)$.
- **Derivada del PBI**: variación esperada interanual del PBI.
- **Inversión Inmobiliaria**: Volumen de capital destinado al mercado inmobiliario.
- **Costo de la Construcción**: Costo por metro cuadrado de construcción nueva.

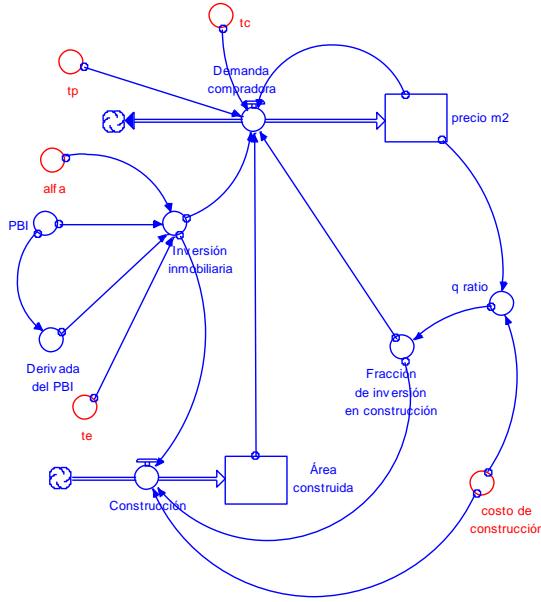


Figura 10: Modelo Base Sintético

Como ejemplo de explotación del Modelo Base se observa en la **Figura 11: Comportamiento Actual** el resultado de la simulación de validación.

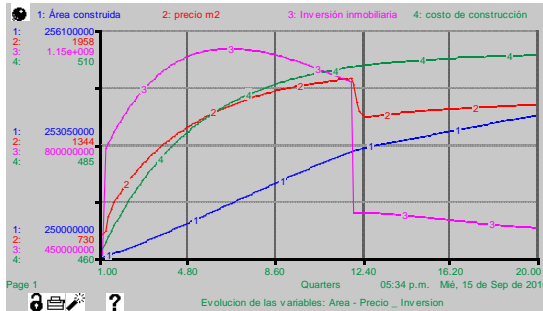


Figura 11: Comportamiento Actual

En la **Figura 12: Evolución de los parámetros** pone de manifiesto el comportamiento temporal de los principales elementos que condicionan el comportamiento temporal del modelo.

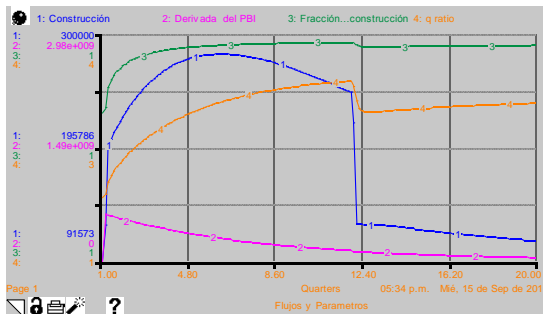


Figura 12: Evolución cuantitativa de variables

5. VERSIÓN DE EXPLOTACIÓN

Verificadas las hipótesis dinámicas planteadas que sustentan la estructura del modelo base sintético y validado el comportamiento del mismo frente a los datos de la realidad, se requiere de una versión refinada que incorpore:

- La dinámica de evolución del PBI que afecta el nivel de inversión en el mercado inmobiliario primario.
- La dinámica de evolución del costo de la construcción, contemplando el efecto de la inflación y del impacto relativo del nivel de actividad en el sector.
- El subsistema de evolución del incremento del precio por metro cuadrado contemplando el efecto de la participación del capital externo en la demanda compradora.
- La formación relativa del valor de la construcción nueva en las propiedades horizontales, tipificadas por zonas y factor discriminador de locación que contemple la influencia del costo del terreno y labor de demolición posible.

A los efectos, la versión de explotación del Modelo de Comportamiento del Mercado Inmobiliario de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, construido con el Software: VenSim PLE Plus, es el que se ilustra en la **Figura 13: Modelo Mercado Inmobiliario caba**:

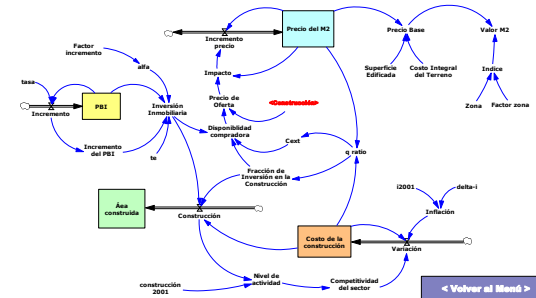


Figura 13: Modelo Mercado Inmobiliario caba

Cuyas ecuaciones son:

- (01) $\alpha = 0.001 + \text{RAMP}(\text{Factor incremento}, 2002, 2008)$
Units: Dmnl
- (02) $\text{Área construida} = \text{INTEG}(\text{Construcción}, 2.5e+008)$
Units: m2
- (03) $\text{Cext} = q \text{ ratio}^2$
Units: U\$\$/año [0,5,0.25]
- (04) $\text{Competitividad del sector} = 1/\text{Nivel de actividad}$
Units: Dmnl
- (05) $\text{Construcción} = \text{Fracción de Inversión en la Construcción} / \text{Costo de la construcción} * \text{DELAY1}(\text{Inversión Inmobiliaria}, 2)$

- Units: m2/año
 (06) construcción 2001=46256.3
 Units: m2/año
 (07) Costo de la construcción= INTEG (Variación,400)
 Units: U\$\$
 (08) Costo Integral del Terreno=300000
 Units: U\$\$ [100000,1e+006,50000]
 (09) "delta-i"=0
 Units: Dmnl [0,0.015,0.001]
 (10) Disponibilidad compradora= Inversión Inmobiliaria*(1-Fracción de Inversión en la Construcción)*(1+DELAY1(Cext, 3))
 Units: U\$\$/año.
 (11) Factor incremento=0.001
 Units: Dmnl [0,0.002,0.0001]
 (12) Factor zona=0.5
 Units: Dmnl [0.5,1,0.1]
 (13) FINAL TIME = 2020
 Units: año
 (14) Fracción de Inversión en la Construcción= 1/(1+4/q ratio^3)
 Units: Dmnl
 (15) i2001=0.03
 Units: Dmnl [0.03,0.05,0.001]

 (16) Impacto = WITH LOOKUP (Precio del M2/Precio de Oferta, ((0,0.2),(2,0.6)),(0,0.5),(0.37,0.46),(0.60,0.40),(0.7,0.9),(0.9,0.2),(1,0.06),(1.15,0.07),(1.5,0.12),(2,0.125)))
 Units: Dmnl
 (17) Incremento=tasa*PBI
 Units: U\$\$/año
 (18) Incremento del PBI=Incremento
 Units: U\$\$/año
 (19) Incremento precio=Impacto*Precio del M2
 Units: U\$\$/m2/año
 (20) Índice=Zona*Factor zona
 Units: Dmnl
 (21) Inflación=i2001+DELAY1(RAMP(0.015, 2007, 2010),2)-DELAY1(RAMP("delta-i", 2010, 2015),2)
 Units: 1/año [0,0.07,0.005]
 (22) INITIAL TIME = 2001
 Units: año
 (23) Inversión Inmobiliaria= alfa*(PBI+te*Incremento del PBI)
 Units: U\$\$/año
 (24) Nivel de actividad=1+STEP((Construcción-construcción 2001)/Construcción, 2002)
 Units: Dmnl
 (25) PBI= INTEG (Incremento,2.5e+010)
 Units: U\$\$
 (26) Precio Base=Precio del M2+(Costo Integral del Terreno/Superficie Edificada)
 Units: U\$\$/m2

- (27) Precio de Oferta=
 Disponibilidad compradora/Construcción
 Units: U\$\$/m2
 (28) Precio del M2=
 INTEG (Incremento precio, 900)
 Units: U\$\$/m2
 (29) q ratio=
 Precio del M2/Costo de la construcción
 Units: Dmnl
 (31) Superficies Edificada=1800
 Units: m2 [1000,3000,200]
 (32) tasa=STEP(0.075, 2002)
 Units: Dmnl [0,0.1,0.005]
 (33) te=0.4
 Units: Dmnl [0,1,0.05]
 (34) TIME STEP = 0.25
 Units: año
 (35) Valor M2=Precio Base*Índice
 Units: U\$\$/m2
 (36) Variación=Costo de la construcción/
 Competitividad del sector*Inflación
 Units: U\$\$/año
 (37) Zona=0
 Units: Dmnl [0,5,1]

El modelo construido, a través de su interfaz de inicio: **Figura 14: “Menú Principal”**, nos permite navegar las distintas vistas donde simular de manera interactiva el comportamiento del sistema y observar las trayectorias de las variables de interés condicionadas por los valores de los distintos parámetros de su estructura:

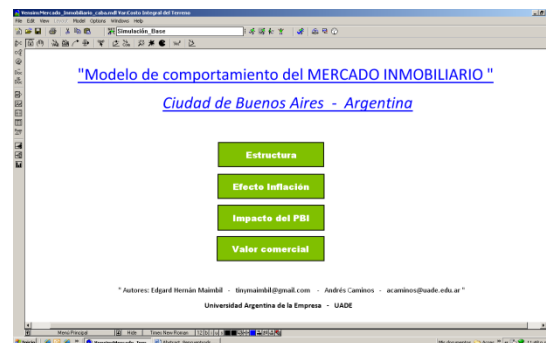


Figura 14: “Menú Principal”

Efectos de la Inflación: simulando el modelo con valores de los parámetros que se ajustan al comportamiento actual, podemos observar en tiempo de ejecución la implicancia de la inflación en la formación de los costos de la construcción, el precio del m2 de construcción nueva y el ritmo de construcción anual, como se aprecia en la figura 15:

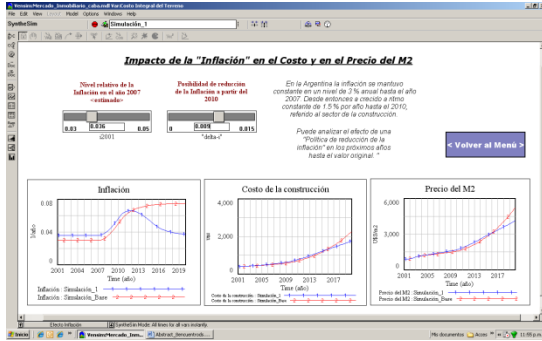


Figura 15: Efectos de la inflación

Impacto del PBI: observamos en esta vista la importancia del factor de proporción del PBI destinado al mercado inmobiliario, pudiendo además variar en tiempo de ejecución el valor de dicho parámetro para analizar el comportamiento resultante en el ritmo anual de construcción así como su costo y precio.

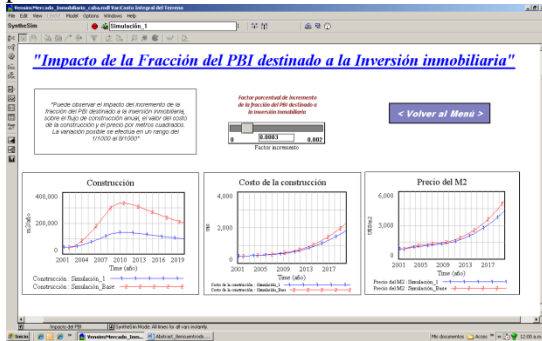


Figura 16: Impacto del PBI

Valor Comercial del M2: El valor comercial es el precio al mercado comprador final, depende tanto de la ponderación incorporada del valor del terreno y costos de demolición previa a la construcción, como de la zona de ubicación del inmueble que condiciona un índice promedio de afectación al precio base. En cinco zonas diferentes de la Ciudad de Buenos Aires podemos observar la evolución esperada del valor por M2 de una propiedad en función de los posibles valores de inflación, nivel de actividad del sector y la dinámica del mercado de demanda, un resultado posible se muestra en la figura 16:

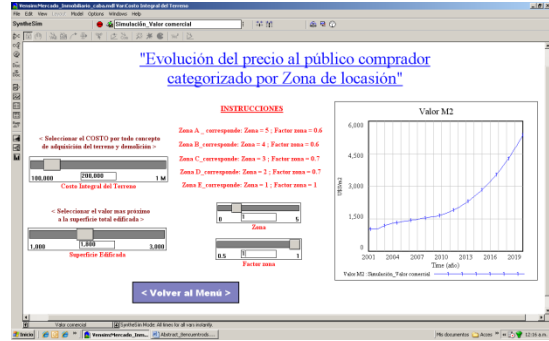


Figura 16: Valor comercial del M2

Una prestación importante del modelo es la posibilidad de abordar un análisis integrado de las implicancias en el comportamiento de las variables de interés a partir de la movilidad en los valores de los parámetros que condicionen el comportamiento del mercado inmobiliario, como se puede observar en figura 17:

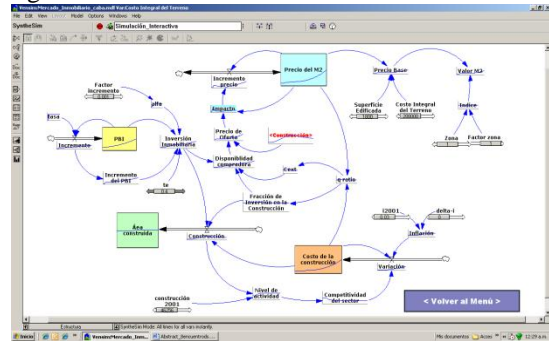


Figura 17: Análisis interactivo general

CONCLUSIONES

El aporte de la Dinámica de Sistema como disciplina de modelado de una parte concreta de la realidad, que nos permite efectuar simulaciones con el objeto de comprender la estructura que subyace a todo conjunto de elementos que se relacionan e interactúan condicionando su comportamiento, es de suma utilidad, más aún cuando se trata de sistemas complejos donde las implicancias de las relaciones no son obvias, situaciones en las que la sola intuición no basta para tomar decisiones con alta probabilidad de éxito.

En el comportamiento del mercado inmobiliario de la Ciudad de Buenos Aires, podemos advertir la existencia de factores clave en su evolución, son ellos:

1. El factor de proporción del PBI que se destina a la inversión inmobiliaria, siendo éste el resultado de los excedentes del rendimiento de la actividad productiva nacional, su destino tiene dos componentes: la inversión en construcción y la proporción destinada al mercado comprador de

producto terminado, cuya cuantificación está orientada por la conveniencia de construir o comprar en dependencia de la confrontación entre el costo de la construcción Vs. Precio del metro cuadrado construido.

2. La importancia de la proporción del capital externo volcado a la demanda compradora como elemento clave en la formación del precio base, que además impacta en el atractivo del sector impulsando su nivel de actividad.
3. La inflación: que impulsa a la suba tanto los costos como los precios e impacta en el nivel general de actividad. La necesidad de controlar la inflación en economías emergentes, a partir de analizar la evolución del mercado inmobiliario, se evidencia como un factor condicionante de políticas orientadas a estabilizar la dinámica del mercado donde la oferta y la demanda están mutuamente condicionadas por el precio y la disponibilidad de recursos impulsores del crecimiento.
4. La multiplicidad de lazos realimentadores de diferente tipificación, que condicionan la evolución temporal de variables de agregación, se convierten en estructuras clave para el análisis predictivo de posibles ocurrencias, su correcta identificación nos han permitido en el presente trabajo abordar la complejidad con mejor orientación al momento de diseñar políticas de actuación con miras a estabilizar y sostener la actividad del sector.

Un claro ejemplo de cuanto aseveramos es proponer la incorporación de recursos financieros genuinos (política oficial de promoción al sector de la construcción), en el componente de inversión destinada a la construcción y orientar los esfuerzos a

reducir en 1% anual la inflación referida al sector, que como se observa en la figura 18, reduce el precio del M2.

Política de promoción al sector construcción con control de inflación

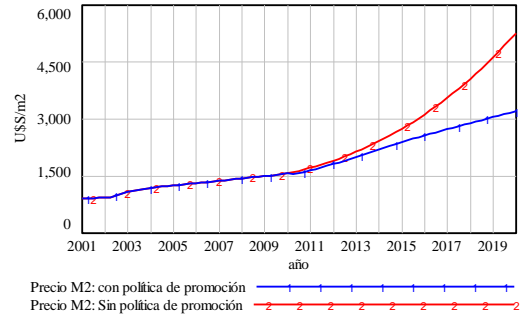


Figura 18: Política de promoción

Si bien no se afectan los costos de construcción, reduce el q_ratio como se muestra en la Figura 19, lo cual estimula el mercado comprador al reducir la brecha entre costos y precios, lo que se traduce en una mejora en la opción de compra.

Impacto en la brecha costo-precio del M2: q_ratio

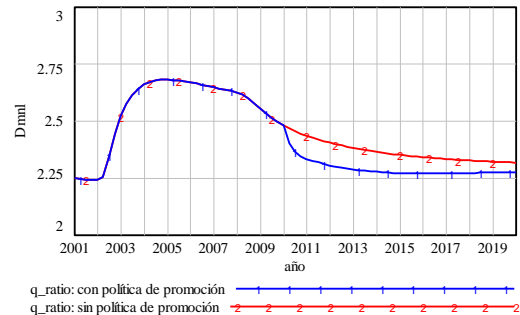


Figura 19: Resultado en el q_ratio

Mercado del azúcar en Colombia.

Sugarmarket in Colombia

Ángela M. Restrepo F. Ing., Carlos J. Franco C., PhDy Ana M. Flórez B., MsC(c).

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
amrestref@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co, amflores@unal.edu.co

Resumen: En este trabajo se analiza el impacto en la cadena de azúcar en Colombia con la introducción al mercado del etanol generado a partir de la caña de azúcar. Se construyó un modelo de Dinámica de Sistemas para analizar la problemática de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar y buscar políticas o cambios en la estructura que puedan ayudar al crecimiento de la oferta.

Palabras clave: caña de azúcar, etanol, exportación, Dinámica de Sistemas.

Abstract: This paper analyzes the impact on Colombian sugar chain with the market introduction of ethanol produced from sugar cane. A System Dynamics model was constructed to analyze the problem of producing ethanol from sugar cane under different policies or changes in the structure that can increase supply.

Key words: sugar cane, system dynamics, exportation, ethanol

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de recursos energéticos, el calentamiento global y la escasez a nivel mundial de los combustibles fósiles, han incrementado el desarrollo de nuevas alternativas energéticas, con el fin de contribuir a la seguridad energética y, a la vez, conservar el medio ambiente [1].

Entre estas alternativas se encuentran lo que hoy conocemos como biocombustibles, que parecen ser una buena opción debido a que son combustibles producidos a partir de materias primas renovables, por lo tanto se pueden convertir en una fuente

“inagotable” de energía. Una de las opciones es el etanol (alcohol carburante), un sustituto para la gasolina.

Colombia no es ajena a esta situación. Así la agroindustria azucarera, incentivada por el gobierno, inició un proceso de diversificación productiva en el año 2005 cuando comenzó a producir etanol utilizando caña de azúcar, lo cual ha generado un proceso de sustitución de azúcar de exportación para etanol.

Se ve la necesidad de evaluar el impacto que tendría la producción de etanol en las exportaciones para suplir la demanda de etanol, que hasta el momento no se ha cumplido en su totalidad. Para ello se desarrollará un modelo de Dinámica de Sistemas con el fin de comprender mejor el problema y realizar análisis de políticas. Además, se analizará la escogencia de los productores de exportar azúcar o, por el contrario, producir etanol.

En la Sección 2 del artículo se muestra la producción de etanol en Colombia. En la Sección 3 se describe el planteamiento del problema. En la Sección 4 se presenta la metodología propuesta. En la Sección 5 se presentan los resultados del modelo. Y, finalmente, en la Sección 6 se exponen las conclusiones y trabajo futuro.

2. PRODUCCIÓN DE ETANOL EN COLOMBIA

El Congreso de la República expidió la Ley 693 de septiembre 19 de 2001 estimulando la producción, comercialización y consumo de alcoholes carburantes con el fin de reducir la contaminación producida por los motores de combustión interna. De esta manera, “las gasolinas que se utilicen en el país en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes, tendrán que contener componentes oxidantes tales como alcoholes carburantes, en la cantidad y calidad que establezca el Ministerio de Minas y Energía”. [2]

Adicionalmente, el gobierno Colombiano ha incentivado la inversión en la producción de alcohol carburante para cubrir la demanda. Los incentivos son: exención o reducción del IVA [3] [4], exoneración o reducción de impuesto de renta [5] [6], y porcentaje de mezcla obligatorio [7] [8].

Hasta hoy, el alcohol carburante producido en Colombia proviene exclusivamente del procesamiento de la caña de azúcar del valle geográfico del río Cauca. Las condiciones agroclimáticas de esta región, el agua y sus suelos han sido prevalentes en las ventajas que tiene la

región frente a otras áreas del mundo. Tales condiciones permiten cosecha y molienda de caña de azúcar durante todo el año y no en forma estacional o por zafra, como lo es en el resto del mundo. Generando en promedio 120 a 140 toneladas de caña por hectárea, siendo esta productividad una de las mejores en el mundo [9].

El país cuenta con cinco plantas productoras de etanol, pertenecientes a los ingenios azucareros, con una capacidad de producción de 1'100.000 litros de alcohol por día, distribuida como se representa en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Plantas de etanol en producción. (Federación Nacional de Biocombustibles, 2010)

Región	Inversionista	Fecha de entrada	Capacidad Instalada (litro/día)	Área sembrada (ha)	Absorción azúcar crudo (Ton/Año)
Cauca, Miranda	Incauca	Octubre 27 de 2005	300.000	11.942	97.690
Valle, Palmira	Providencia	Octubre 26 de 2005	300.000	9.287	65.126
Valle, Palmira	Manuelita	Marzo 24 de 2006	250.000	8.721	81.408
Valle, Candelaria	Mayagüez	Marzo 8 de 2006	150.000	6.587	48.845
Risaralda, La Virginia	Risaralda	Marzo 11 de 2006	100.000	3.004	32.563
TOTAL EN PRODUCCIÓN			1.100.000	39.542	325.632

Cabe anotar que el alcohol carburante se ha producido usando la disponibilidad de caña actual, sin necesidad de recurrir a nuevas áreas sembradas en la región, las exportaciones de azúcar de Colombia han disminuido aproximadamente 316.000 toneladas [10], dejadas de exportar a mercados no preferenciales, donde el país no cuenta con ventajas arancelarias. Es decir, se sustituye azúcar de exportación por alcohol, ampliando así el portafolio de productos del sector azucarero y dando a dicha cantidad desplazada un ingreso más estable en el largo plazo. Esto a su vez ha permitido que en promedio, un 10% de la actividad productiva del sector azucarero se haya dedicado a la producción de alcohol, lo cual contribuye a la sostenibilidad del sector.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se distribuye en todo el país la gasolina con una mezcla de 8% de etanol. No obstante, la meta inicial del Ministerio de Minas y Energía era de un porcentaje de 10. El presidente de la Federación Nacional de Biocombustibles, Jorge Bendeck, explicó que hasta diciembre del año pasado, el 80% del país, con excepción de la Costa Atlántica, estaba mezclando 10%. Se tomó la decisión de rebajar el porcentaje de mezcla con el fin de cubrir la demanda de todo el país [11].

Como se puede observar en la **Tabla 2**, si se aumenta el porcentaje de mezcla a 25% no habría excedentes de azúcar, por lo tanto es muy conveniente destacar la necesidad de desarrollar la industria de producción de etanol en otras regiones del país. Como se dijo anteriormente, ésta se encuentra concentrada en el valle geográfico del río Cauca, donde la infraestructura para ello ya estaba desarrollada. Sin embargo, el potencial en esta región es limitado,

tanto por la necesidad de mantener una importante producción de azúcar para abastecer el mercado interno, como por la limitación en la disponibilidad de tierras.

Se cuenta con 3.898.583 hectáreas para el cultivo de la caña de azúcar, esto indica que Colombia tiene la capacidad suficiente de cultivos para cumplir tanto con la demanda interna del azúcar como la demanda de producción de etanol a mezclas mayores de 10 %.

Tabla 2. Impacto de la mezcla interna en los excedentes de azúcar crudo. (Arias Leiva, 2007)

Escenario de Mezcla	Consumo Interno de azúcar (ton azúcar crudo)	Producción de etanol (millones de litros/año)	Producción etanol equivalente a azúcar crudo (ton)	Excedentes de azúcar crudo (ton)	Hectáreas utilizadas para etanol
E10	1.500.00	452	526.022	773.978	50.855
E20	1.500.00	904	1.053.044	247.956	101.710
E25	1.500.00	1.117	1.300.00	-	125.674
E30	1.500.00	1.356	1.578.066	(278.066)	152.564

Así, es necesario analizar los siguientes puntos:

- El déficit para suplir la demanda interna de etanol que actualmente se presenta.
- Hasta qué punto se pueden utilizar los excedentes de azúcar crudo.
- Sembrar nuevas tierras para la producción de etanol.

4. MODELO

Se construyó un modelo de Dinámica de Sistemas para detallar la cadena del azúcar en Colombia con el fin de analizar la problemática de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar y buscar políticas o cambios en la estructura que puedan ayudar al crecimiento de la oferta.

4.1 ¿POR QUÉ DINÁMICA DE SISTEMAS?

Fue desarrollada por Jay W. Forrester en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) alrededor del año 1950, como una metodología de simulación que permite estudiar el comportamiento de sistemas complejos y hacer cambios en las variables para poder evaluar diversas alternativas de sucesos futuros mediante la definición de escenarios y comparación de sus resultados (Sterman, John D., 2000).

La Dinámica de Sistemas parte de la formulación de relaciones entre variables para el análisis de dinámicas endógenas, ciclos de realimentación, retardos y no linealidades. Permite ampliar los modelos mentales del sistema mediante estructuras causales y de niveles y flujos; con el fin de

entenderlos de una forma sistémica, aprender acerca de su comportamiento y sus dinámicas e impulsar factores clave por medio de la implementación de políticas de tal manera que se generen beneficios con este análisis [12].

La industria azucarera colombiana es un sistema complejo, debido a que involucra múltiples variables. Esta complejidad surge debido a las siguientes características [12].

- Hay ciclos de realimentación tanto positivos como negativos.
- Hay un proceso en la toma de decisiones por parte de los ingenios a la hora de destinar su producción. La cual se realizará por medio del modelo Logit.
- Hay un retardo que se genera debido a que la caña de azúcar no se cosecha de inmediato cuando se decide sembrar.

A continuación se presenta el modelo de Dinámica de Sistemas propuesto, sus supuestos y las hipótesis dinámicas.

4.2 SUPUESTOS DEL MODELO

Se presentan a continuación los supuestos y los alcances del modelo:

- Para este modelo sólo se tienen en cuenta los cultivos de la caña de azúcar para la producción de etanol. El cultivo de la caña panelera o demás cultivos para la producción de etanol no se tendrán en cuenta.
- Se hace el supuesto de que se cuenta con la capacidad instalada para la producción de etanol. Se

va a sembrar la caña de azúcar necesaria para cubrir la demanda interna de etanol.

- Los precios tanto del etanol como el del azúcar serán variables exógenas al modelo. Serán los precios actuales.
- Siempre se debe suplir la demanda interna del azúcar.
- Se realizaron simulaciones en Powersim usando un horizonte de tiempo de 10 años y un paso de simulación trimestral.

A continuación se explican las causalidades y las hipótesis tenidas en cuenta para el estudio de esta problemática.

4.3 HIPÓTESIS DINÁMICA

En la **Figura 1** se describe el diagrama causal del modelo del sector azucarero colombiano, en él se

observan las principales variables que se relacionan para determinar el comportamiento del sistema, así como los retardos y los ciclos de retroalimentación. Está constituido por tres ciclos, dos de balance y uno de refuerzo.

En el ciclo de balance (R1) se puede observar cómo los cultivos de caña de azúcar y su producción están determinados por la rentabilidad de los productos que se derivan de ésta. Se puede observar que el ciclo (B1) es una restricción al sistema debido a que cuando se acaban las hectáreas disponibles para la siembra de caña se limitará la industria azucarera. Finalmente, en el ciclo (B2) se puede observar que mientras más se cubra la demanda es mucho menor la proporción de las personas que consuman un producto sustituto.

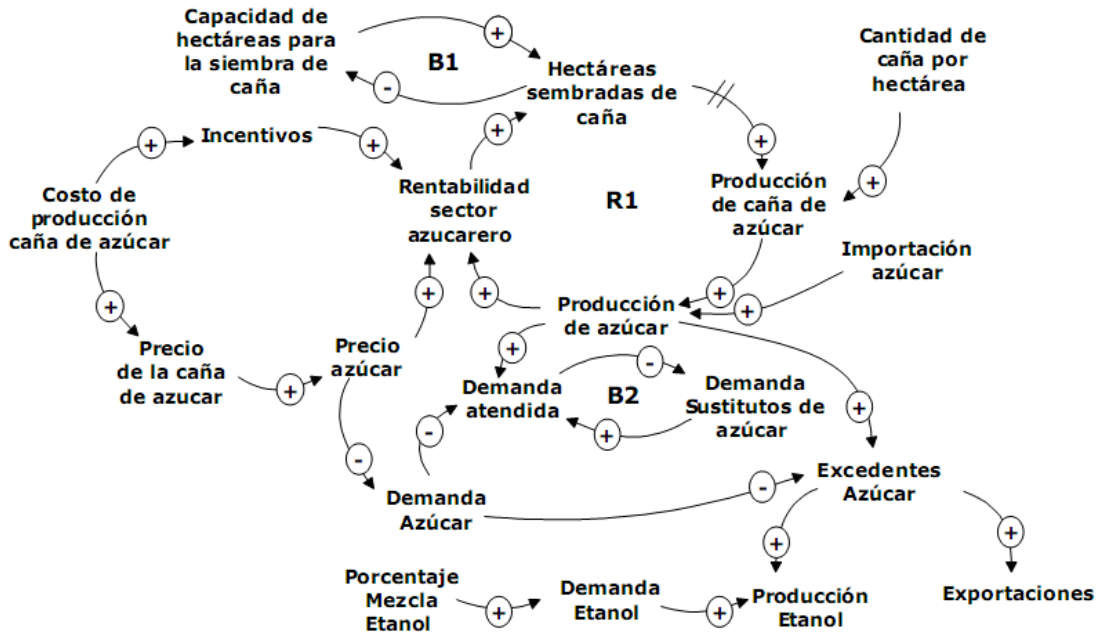


Figura 29. Diagrama causal cadena del azúcar colombiana.

5. RESULTADOS

La demanda de etanol se realizará bajo dos escenarios propuestos por la UPME donde se asumió oxigenación de la gasolina hasta el 10%. [13]

Caso base (tendencial)

- Escenario medio de crecimiento económico.

- Escenarios de precios medios basados en el EIA.
- Ningún sistema masivo va a GNV salvo los sistemas que ya están funcionando con éste en Bogotá, todos son energizados con Diésel.
- La entrada de GNV se deja siguiendo la tendencia de los últimos años.

Crecimiento económico alto

- Se permite la entrada de transporte masivo a GNV para Medellín, Barranquilla y Cartagena.
- Escenario alto de crecimiento económico.
- Escenarios de precios bajos basados en el EIA.
- Los demás supuestos como en el caso base.

En la Figura2, se presenta la oferta y la demanda de etanol del caso tendencial propuesta por el gobierno con una mezcla del 10%. Se observa que durante el tiempo de simulación siempre habrá demanda insatisfecha de etanol. Además se observa que se hacen inversiones en el cultivo, sin embargo no son suficientes. En la **Figura 3**, se observa la disponibilidad de tierras para el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, las cuales no se agotan, por lo tanto no se hace expansión a otras cultivos en otras partes del país.

5.1CASO TENDENCIAL

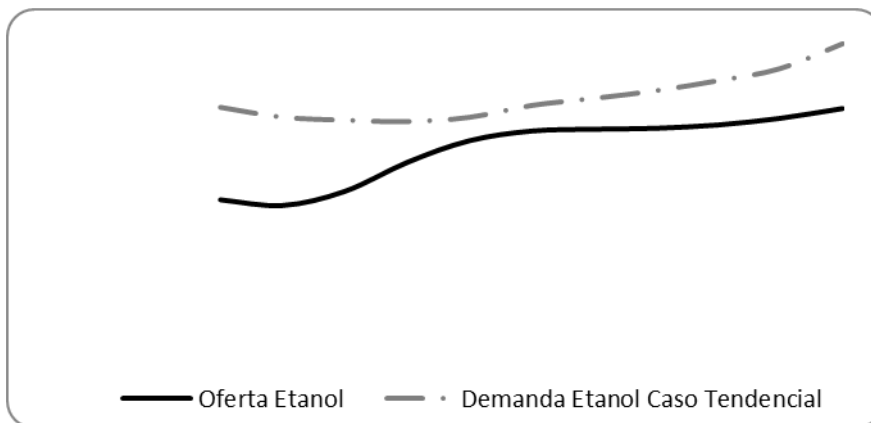


Figura 30.Oferta y demanda etanol. Caso tendencial. E10

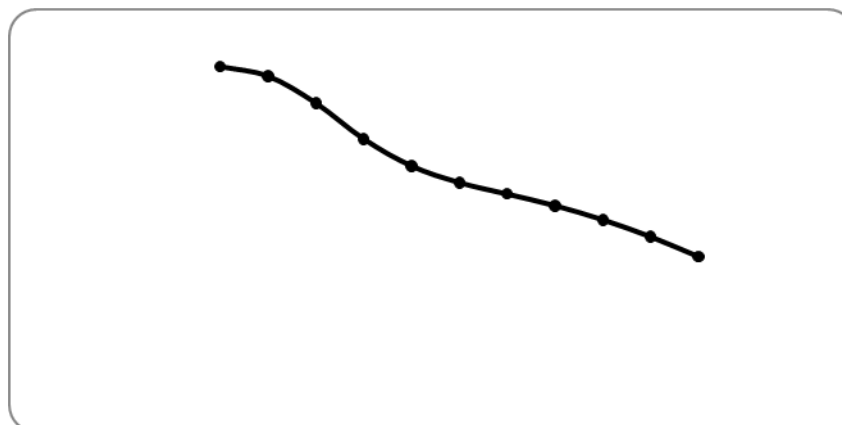


Figura 31. Tierras disponibles para el cultivo caña de azúcar en el Valle del Cauca. Caso tendencial. E10

El Ministerio de Agricultura planea exigir a partir del 2012 una mezcla del 20% [14]. Al poner en marcha este proyecto se observa en la **Figura 4** que en la mayor parte del tiempo de simulación no se alcanza a cubrir la demanda de etanol, excepto por el periodo 2016-2018 donde se presenta un excedente de etanol

debido a que en años anteriores se realizaron inversiones en el cultivo y apenas en este periodo se reflejó. Es importante resaltar que las inversiones en cultivo se realizaron utilizando tierras del valle del río Cauca, pero no se expande el cultivo a otras regiones del país, como se observa en la **Figura5**.

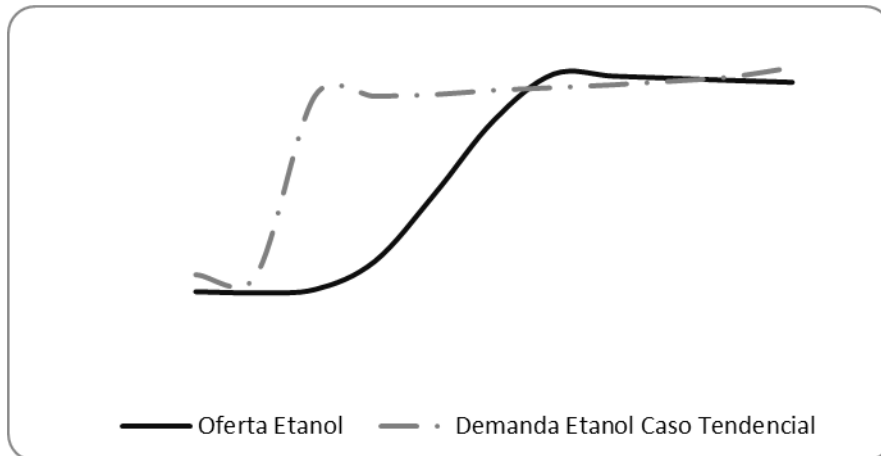


Figura 32. Oferta y demanda etanol. Caso tendencial. E20

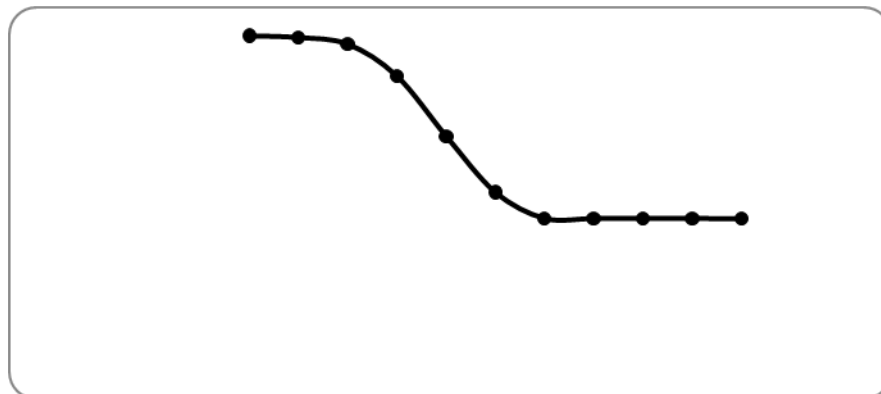


Figura 33. Tierras disponibles para el cultivo caña de azúcar en el Valle del Cauca.

Caso tendencial. E20

5.1 CASO CRECIMIENTO ECONÓMICO ALTO

En la **Figura 6** se presenta la oferta y la demanda de etanol en el caso de crecimiento económico alto propuesta por el gobierno con una mezcla del 10%. Como se aprecia en la figura, durante el tiempo de

simulación del modelo siempre habrá demanda insatisfecha de etanol al igual que en el caso tendencial. En la **Figura 7** se observa que las inversiones en cultivo fueron realizadas en el valle del río de Cauca.

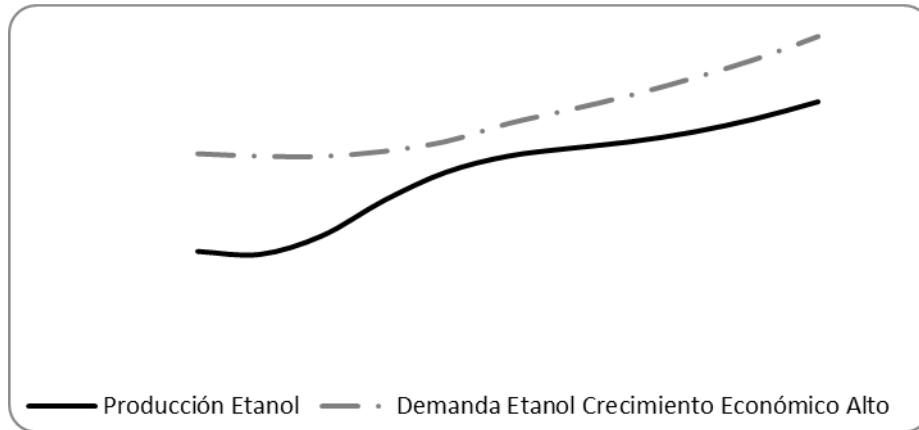


Figura 34. Oferta y demanda etanol. Caso crecimiento económico alto. E10

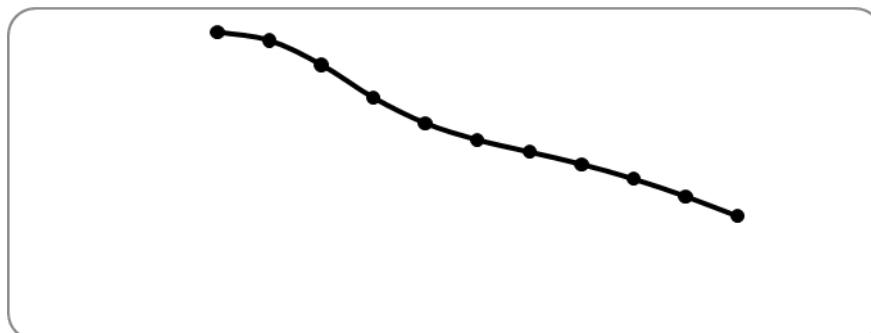


Figura 35. Tierras disponibles para el cultivo caña de azúcar en el Valle del Cauca.

Caso crecimiento económico alto. E10

Al poner en marcha el proyecto de una mezcla de 20% a partir del 2012 se observa en la **Figura 8** que en la mayor parte del tiempo de simulación no se alcanza a cubrir la demanda de etanol, la brecha más grande está en el año 2012 cuando se cambia de porcentaje de mezcla, ya que no se cuenta con la

materia prima suficiente. La inversión en cultivos sólo logra satisfacer la demanda de etanol entre el período 2016-2017 presentando un exceso de producción. En la **Figura 9** se observa la evolución de las tierras disponibles en el valle del río de Cauca.

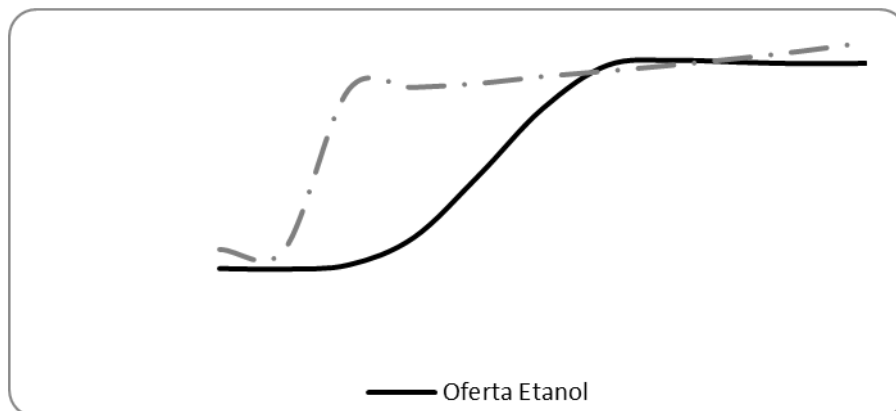


Figura 36. Oferta y demanda etanol. Caso crecimiento económico alto. E20

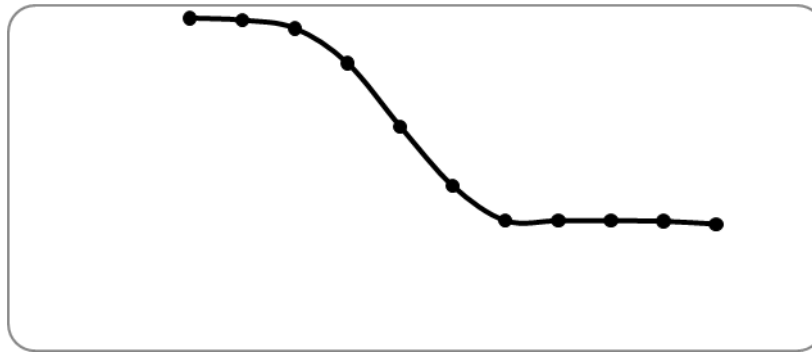


Figura 37. Tierras disponibles para el cultivo caña de azúcar en el Valle del Cauca.

Caso crecimiento económico alto. E20

6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- Con un plan de E10, tanto en caso tendencial como en crecimiento económico alto, no se alcanza a cubrir la demanda de etanol en ningún momento de la simulación. Con un plan de E20 a partir del año 2012 tampoco se supe la demanda, sin embargo en algunos periodos se supe y hay excedentes de producción.
- El modelo de Dinámica de Sistemas construido es útil para aprender acerca del comportamiento del mercado del azúcar con el fin de entender el sistema de producción de etanol y analizar el problema en busca de mejoras.
- Una de las principales dificultades que tuvo la realización de este trabajo fue la búsqueda de información, ya que para la industria azucarera la mayoría de los datos se clasifican como confidenciales.

7. REFERENCIAS

[1] IBEPA. Instituto Boliviano de Economía y Política Agraria. Disponible en: http://www.ibepe.org/index-Dateien/v1n3-2009_FAO.pdf [Consulta: Noviembre de 2009].

[2] Secretaría del Senado. Ley 0693 de 2001. Disponible en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley/2001/ley_0693_2001.html [Consulta Enero de 2010]

[3] Secretaría del Senado. Ley 0788 de 2002. Disponible en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley/2002/ley_0788_2002.html [Consulta enero de 2010]

[4] HERNÁNDEZ BOCHNO, E. Biocombustibles. Visión del sector agropecuario. Disponible en: http://www.biocombustiblescolombia.com/2008/memorias/MinAgricultura_E_Bochno.pdf [Consulta marzo de 2010]

[5] Secretaría del Senado. Ley 0863 de 2003. Disponible en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley/2003/ley_0863_2003.html [Consulta marzo de 2010]

[6] Actualícese. Ley 1111 de 2006. Disponible en: <http://www.actualicese.com/normatividad/2006/12/27/ley-1111-de-27122006/> [Consulta marzo de 2010]

[7] Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Resolución No 18 0687 de 2003. Disponible en: http://www.mincomercio.gov.co/eContent/Documentos/Normatividad/resoluciones/2003/R_180687_2003.pdf [Consulta marzo de 2010]

[8] Alcaldía de Bogotá. Decreto 2629 de 2007. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=25667> [Consulta marzo de 2010]

[9] ESPINAL G, C. F., MARTÍNEZ COVALEDA, H. J., & BELTRÁN LAMMOGLIA, L. S. (2005). Documento de trabajo No. 80. La agroindustria del Azúcar en Colombia. Bogotá.

[10] ASOCAÑA. Asociación de Cultivadores de Caña de Colombia. Informe anual 2008-2009.

Disponible en:
<http://www.asocana.org/modules/documentos/verdocumento.aspx?id=8153&url=/documentos/1162009-1951B0B4-FFFFFF,000A000,00FF00,FF00FF,E1E1E1,C3C3C3,A5A5A5,878787,696969,4B4B4B,2D2D2D,0F0F0F,D2D2D2,B4B4B4.pdf&urlzip=/documentos/1162009-1951B0B4-FFFFFF,000A000> [Consulta diciembre de 2009]

[11] Federación Nacional de Biocombustibles. Expectativa por motores flexibles. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v2/nota-web-id-364.htm> [Consulta marzo de 2010]

[12] STERMAN, J. D. (2000). Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.

(McGraw-Hill, Ed.) Estados Unidos: Jeffrey J. Shelstad.

[13] UPME. (2008). Proyección de demanda de energía para el sector transporte.

[14] ARIAS, A. F. (7 de septiembre de 2007). Los biocombustibles en Colombia. Cartagena.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a: ISA por la financiación del proyecto de investigación “Modelo regional de producción y transporte de biocombustibles en Colombia”, el cual hace parte este estudio.

Propuesta de un modelo de simulación de ganadería intensiva bovina

Urbano Eliécer Gómez Prada, MsC
Universidad Industrial de Santander
urbanoeliecer22@hotmail.com

Hugo Hernando Andrade Sosa
Universidad Industrial de Santander
Dir. Grupo SIMON de Investigaciones.
handrade_sosa@hotmail.com

Resumen:¹ - Con el objeto de dar continuidad a proyectos del grupo SIMON en el desarrollo de aportes informáticos para el sector agroindustrial y ante la necesidad de suministrar una herramienta para facilitar el aprendizaje y conocimiento detallado de la ganadería bovina intensiva que apoye las actividades de capacitación y experimentación, se desarrolló SIPROBI 1.0: Modelo de SIMulación de SISTemas de PROducción Bovina Intensiva, conjunto formado básicamente por seis prototipos de cobertura y complejidad creciente y un ambiente software que facilite la interacción con los usuarios, llevados a cabo haciendo uso de los lenguajes propuestos por la Dinámica de Sistemas.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, pensamiento sistémico, modelado, simulación, ganadería intensiva.

Abstract:- In order to give continuity to projects of SIMON group in the development of contributions for the agroindustrial sector and to supply a tool to improve the learning and detailed knowledge of the bovine intensive ranching that supports the activities of training and experimentation, there was developed SIPROBI: Model of System simulation of Bovine Intensive Production, set formed basically by six prototypes of coverage and increasing complexity and an environment software that facilitates the interaction with the users, carried out using the languages proposed by the system dynamics.

Key words: system dynamics, system thinking, modeling, simulation, intensive bovine production.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción bovina intensiva tienen como objetivo principal obtener en períodos cortos producciones de leche y carne mayores a los obtenidos en sistemas extensivos. En pequeñas extensiones de terreno se poseen cargas animales muy altas, lo que hace más elevados los costos de mantenimiento e infraestructura, pero a su vez, se optimiza la utilización de espacios y se obtiene una mayor rentabilidad, optimización en el uso de los recursos y aportes para el mejoramiento del medio ambiente.

En la actualidad existen modelos y herramientas software, que brindan asesoría en el campo de la ganadería bovina extensiva, pero se hace evidente la insuficiencia de esos apoyos en el caso de la intensiva, situación que no ayuda a que ganaderos, productores, docentes e investigadores se motiven a comprender y promover este sistema productivo.

Este modelo de producción intensiva se presenta en un ambiente software que facilita su uso como herramienta para el aprendizaje, la investigación y la gestión, el cual se implementó sobre el ambiente software AGRODISI (Gómez, 2010) desarrollado en el marco de las actividades investigativas del grupo SIMON.

Esta ponencia se inicia con una breve descripción de los sistemas de producción bovina extensiva e intensiva detallando los tipos de sistema, la alimentación, la sanidad y aspectos clave de la administración; continúa con una breve presentación de los antecedentes, el cual soportó el desarrollo del modelo, desarrollo que se presenta en términos de seis prototipos de cobertura y complejidad creciente,

¹ Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia; en el marco del

2010, Medellín.. Mayor información sobre este trabajo y labores del grupo SIMON: <http://simon.uis.edu.co/>

propuestos de esta manera para facilitar la comprensión de este fenómeno y apreciar el modelado. Finalmente se da a conocer la interfaz que facilita la experimentación con cada uno de los modelos.

1. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BOVINA

Debido a la exitosa domesticación del ganado bovino y a su eficaz adaptación a la diversidad de climas, su producción se ha convertido en una de las mayores fuentes alimenticias que hoy día poseen los seres humanos.

En zonas donde existe una constante pluviosidad, la producción de ganado bovino se ve beneficiada, debido a que el crecimiento de las pasturas es continua y a mayor velocidad de lo que ocurre en aquellas regiones en donde las condiciones son invernales o de sequía extrema, las cuales disminuyen y en algunos casos anulan el desarrollo de los pastos (Phillips, 2003). La ventaja relativa de producción de alimento para el ganado puede ser aprovechando prácticas de producción como la ganadería intensiva, las cuales se proponen difundir desarrollos como SIPROBI.

Durante el siglo XX y lo que ha corrido del XXI, los sistemas de producción bovina se han intensificado, tanto en países desarrollados como en países en vía de desarrollo, adoptándose nuevas técnicas de producción. Las prácticas más comunes de ganadería se mencionan a continuación:

1.1. Ganadería bovina extensiva

La ganadería extensiva es aquel sistema de crianza de ganado que se lleva a cabo en grandes extensiones de terreno, donde la carga va hasta dos (2) animales por hectárea (10.000 m²). La supervisión de los animales se hace de manera esporádica, los animales pastorean libremente y se encargan de buscar y seleccionar su alimentación en potreros de gran tamaño. La ganancia promedio en peso oscila entre los 0 y 450 gramos/día.

1.2. Ganadería bovina intensiva

La ganadería intensiva es un sistema de producción agropecuario mixto, implementado en pequeñas extensiones de terreno, en el cual la cría bovina se realiza con un manejo intensificado en todos sus aspectos (salud animal, nutrición, genética, etc.), donde la carga va desde cuatro (4) hasta treinta (30) animales por hectárea (10.000 m²), la supervisión de los animales es permanente; los animales no tienen que buscar su comida, ésta se dispone donde ellos se

encuentran. Se alimentan de manera balanceada para su adecuada nutrición, garantizando siempre la cantidad y calidad del alimento, obteniendo una ganancia promedio en peso entre 450 y 1.500 gramos/día (el Portal ganadero, 2007).

Los sistemas de pastoreo comúnmente utilizados en la ganadería intensiva son: pastoreo intensivo rotacional con cargas altas, confinamiento (estabulado) y semiestabulación.

El principal objetivo de la ganadería intensiva, según el Portal ganadero (2007) es “obtener el máximo beneficio en el menor tiempo posible, concentrando los medios de producción y mecanizando y racionalizando los procesos, para incrementar constantemente el rendimiento productivo”, para lograrlo es necesario aumentar la competitividad, la rentabilidad y sostenibilidad, contribuyendo con el medio ambiente y apoyando el mejoramiento de las condiciones ambientales.

Las siguientes ideas sobre los tipos de sistemas productivos, alimentación, salud animal y manejo administrativo, son indispensables para comprender el proceso de modelado del sistema de producción de ganadería intensiva.

1.2.1. Tipos de sistemas de producción

Existen en la actualidad diferentes tipos de prácticas ganaderas, algunas dedicadas a la explotación de carne, otras cuyo objetivo central es la producción de leche y unas tantas que se dedican únicamente a la cría. También se pueden encontrar prácticas ganaderas cuyo propósito sea tanto la producción de leche como de carne, a las cuales se denominan sistemas doble propósito.

1.2.2. Alimentación

En el sistema de producción intensivo la alimentación se suministra con las siguientes alternativas:

- Gramíneas utilizadas para pastoreo.
- Gramíneas utilizadas para corte.
- Leguminosas.
- Forrajes temporales.
- Suplementos.
- Ensilajes.
- Concentrados.

1.2.3. Sanidad Animal

Toda modificación al ciclo de vida natural debe realizarse en función del aumento de la

productividad, la sanidad animal cumple un rol preventivo de gran importancia en la realización eficiente del ciclo de vida productivo, ya que se da una interacción entre los animales, su entorno y los organismos que causan enfermedades. Como son animales que viven agrupados, se debería considerar al ganado bovino como un grupo, pero también individualmente, si la salud de un animal difiere notablemente de la del grupo.

Por ello se deben cumplir las normas básicas de bioseguridad, para reducir la aparición y transmisión de enfermedades y por ende contar con herramientas sanitarias que le permitan bajo el asesoramiento profesional, actuar en forma preventiva.

1.2.4. Manejo administrativo

El ganadero (dueño de la finca) es el principal elemento del componente administrativo y como tal, está en la obligación de dirigir a la empresa hacia los objetivos establecidos, siendo la meta principal la administración de su(s) hato(s) con el mayor provecho posible, haciendo para ello uso de sus propios recursos como capital, mano de obra y terrenos.

Con el objeto de asegurar los altos rendimientos con uso eficiente de los recursos, el producto de la ganadería (carne y/o leche) debe tener un valor que exceda, en tanto como sea posible, al valor de los factores de producción (tierra, capital, animales, trabajo) utilizados.

Una correcta administración de una finca ganadera, logrará sus objetivos siempre y cuando sea guiada por factores tales como diagnóstico de la situación de la finca, caracterización de la finca, registro del movimiento del ganado, Evaluación económica, Acciones para promover la utilización de la administración en las empresas ganaderas y costos productivos. (Santana, 2006).

1.7. ANTECEDENTES

El proyecto asume como antecedentes las siguientes investigaciones realizadas en sistemas de producción bovina, que, al igual que la presente, fueron desarrolladas con Dinámica de Sistemas y paradigma dinámico-sistémico.

1.7.1. SIPROB 1.0 y SIPROB 2.0

Modelos de ganadería bovina del grupo SIMON desarrollados por GÓMEZ, 2002 y RUIZ, 2007, respectivamente, los cuales integran en un ambiente

software los componentes demográficos, biofísicos, productivos y económicos de un sistema extensivo de ganadería bovina.

1.7.2. Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019

Publicado por FEDEGAN² en noviembre de 2006, se basa en las experiencias compartidas por el gremio de productores ganaderos del país, durante el XXIX Congreso Nacional de Ganaderos, realizado en noviembre de 2004. La publicación toma como estado del arte, la actualidad de la ganadería colombiana para, a partir de este punto, definir objetivos, estrategias y actividades que proyecten la ganadería colombiana hacia el 2019. La expansión de los mercados, la modernización, la tecnificación, son claves en las metas que busca la ganadería en Colombia, pero para alcanzarlas con éxito se hace necesaria la creación de un “Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019”, propuesto por Lafaurie, 2006, el modelo busca aportar un elemento que promueva la concientización sobre la necesidad de tecnificar el fenómeno.

2. MODELO DE SIMULACIÓN DE GANADERÍA BOVINA INTENSIVA

El modelo de ganadería bovina intensiva desarrollado Chajín, et al. 2010, fue desarrollado mediante cinco prototipos, caracterizados por los factores que influyen en un sistema de producción bovina, como son los componentes demográfico, biofísico, productivo y socioeconómico, este último permite la evaluación y el análisis financiero del sistema.

2.1. Prototipo 1: Doble propósito - demográfico

El prototipo 1 fue diseñado para representar un sistema ganadero de doble propósito (producción de carne y leche), mostrando los grupos demográficos o etarios y posibles comportamientos de la población bovina intensiva. El diagrama de influencias es presentado en la figura 1.

² Federación Colombiana de Ganaderos.

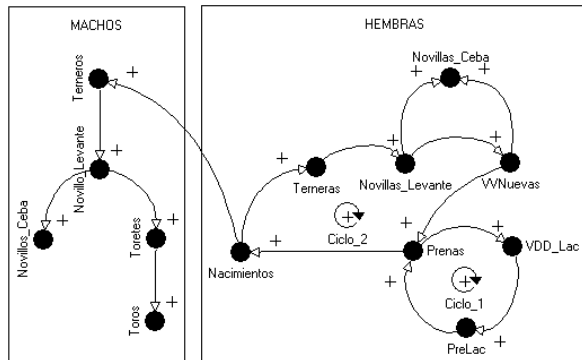


Figura 38. Prototipo 1: Diagrama de Influencias

2.2. Prototipo 2: Ceba intensiva - demográfico financiero

En este prototipo se modelan las características demográficas y financieras de un sistema de producción de ganadería intensiva bovina dedicado a la ceba, asumiendo una capacidad de carga constante. La ganancia diaria de peso es el eje de este sistema de producción. En el diagrama de influencias de este prototipo, figura 2, se aprecian los tres sectores en los que se estructura el modelo y los ciclos que determinan su dinámica.

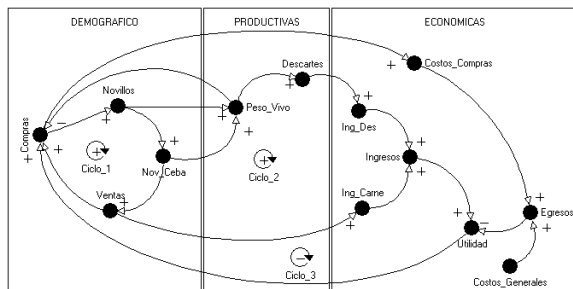


Figura 39. Diagrama de influencias, Prototipo 2.

2.3. Prototipo 3: Lechería - demográfico y financiero

El Prototipo 3, considera la producción de leche y la influencia del comportamiento demográfico en dicha producción. Además busca determinar el estado

financiero del sistema, en términos de ingresos, egresos y utilidades. Los niveles etarios manejados son terneras, novillas, novillas elite, vacas vacías nuevas, receptoras, donadoras, vacas preñadas, vacas vacías en descanso, receptoras vacías en descanso y vacas preñadas lactantes, figura 3.

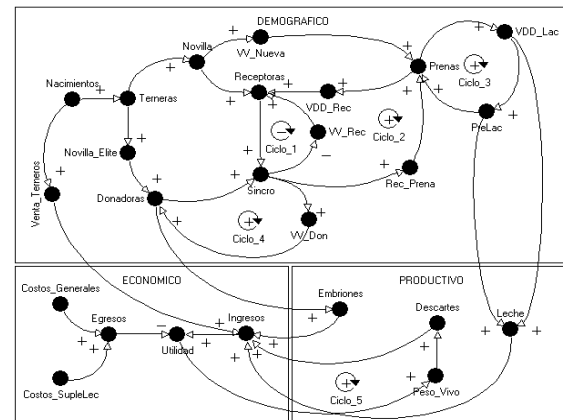


Figura 40. Diagrama de Influencias, Prototipo 3

2.4. Prototipo 4: Componente biofísico

En este prototipo se modelan las variables biofísicas, las cuales determinan el rendimiento y la producción del sistema. Una síntesis se aprecia con el diagrama de influencias, figura 4, el cual relaciona las variables fundamentales que determinan la capacidad de Carga, el pasto en potreros, pasto en confinamiento y rotacional, y la energía que de estos se puede obtener.

2.5. Prototipo 5: Modelo General de Ceba Intensiva

Este prototipo integra las variables demográficas, biofísicas, productivas y económicas de un sistema de producción bovina intensiva dedicado a la ceba; es decir, integra los cuatro prototipos iniciales. Los elementos y la estructura de este prototipo se pueden apreciar en el diagrama de influencias de la figura 5 y el diagrama de Flujo - Nivel, figura 6.

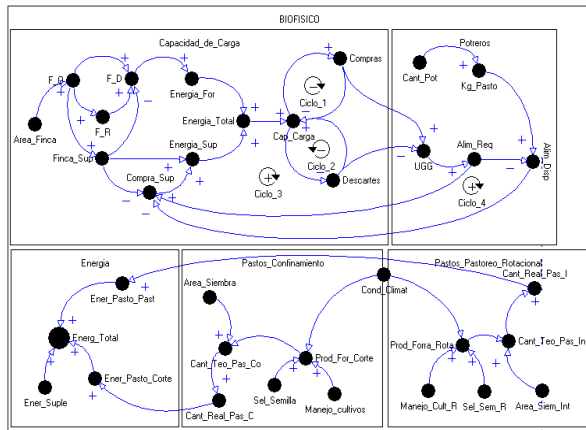


Figura 41. Diagrama de influencias, Prototipo 4

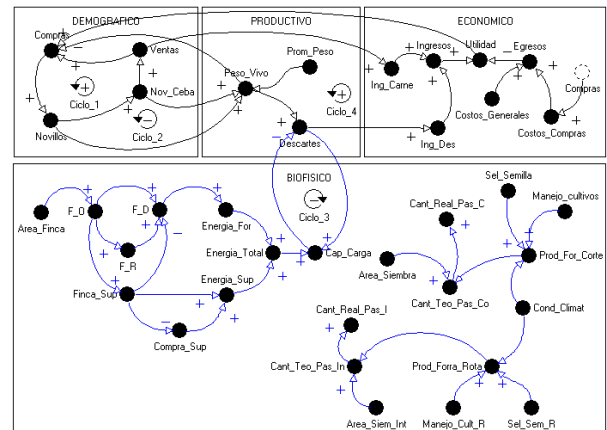


Figura 42. Diagrama de influencias, Prototipo 5.

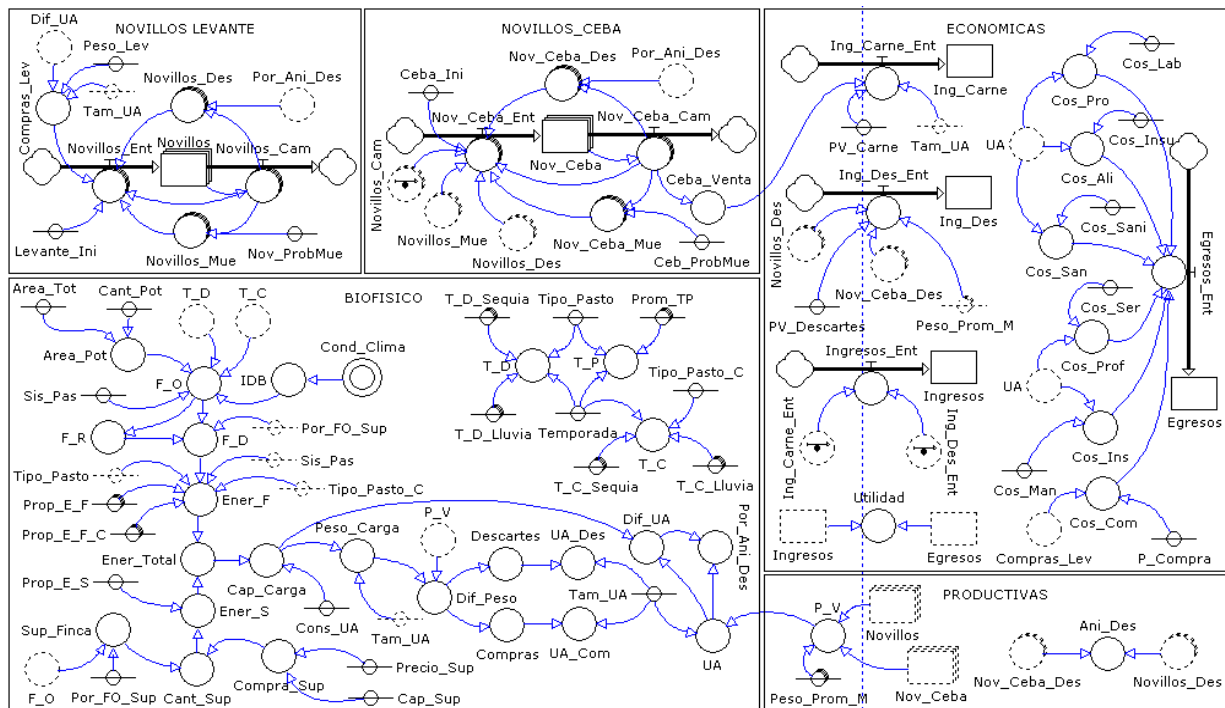


Figura 43. Diagrama de flujo – Modelo general

Como ejemplo de trayectorias temporales se puede apreciar el comportamiento financiero, figura 7, el cual muestra que al inicio de la simulación se obtienen valores negativos para la utilidad, los ingresos iniciales son cero y los egresos son crecientes; en el momento que las gráficas de ingresos y egresos se interceptan, la utilidad es cero y a continuación inicia su crecimiento.

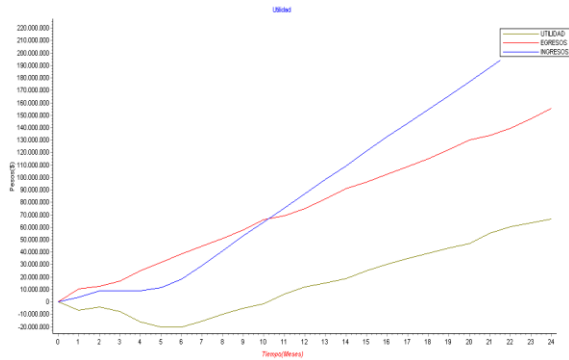


Figura 44. Comportamiento financiero

2.6. Prototipo 6: Dinámica de producción de pasto - Aumento de peso

El Prototipo 6 modela la dinámica de ganancia de peso de un bovino, en coherencia con la disponibilidad alimentaria que puede brindar la dinámica de producción de pasto. Mediante los resultados de simulación, se puede mostrar tanto a principiantes como a expertos los eventos que pueden ocurrir si se brindan o no las condiciones ideales de alimentación y suplemento. Los elementos contemplados y la hipótesis dinámica se recrea en el diagrama de influencias, figura 8.

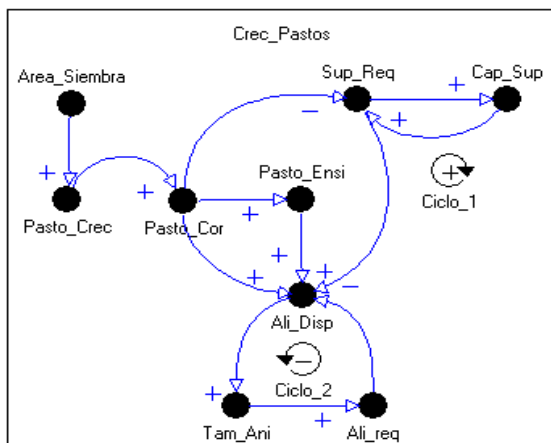


Figura 45. Diagrama de influencias, Prototipo 6.

3. INTERFAZ SOFTWARE SIPROBI

Para el desarrollo se realizó un detallado análisis de los requisitos que debe cumplir el software para la operación del modelo presentando apropiadamente los resultados; con tal fin se recurrió a la utilización de técnicas de muestreo como encuestas, entrevistas y lluvia de ideas, involucrando en forma directa a los usuarios finales, aportando a la confiabilidad de la observación, recolección y organización de la información.

Los instrumentos de muestreo fueron aplicados en su mayor parte a personas relacionadas con el campo de la ganadería, en zonas aledañas al municipio de Cimitarra, departamento de Santander. De igual forma se contó con el apoyo del doctor Carlos Aníbal Vásquez, coordinador de Tecnología Agroindustrial de la Universidad Industrial de Santander.

Este trabajo es soportado en la tesis de maestría “Lineamientos metodológicos para la construcción de modelos agro-industriales identificables en términos de dinámicas poblacionales basados en el pensamiento sistémico y la Dinámica de Sistemas”, (Gómez 2010) determinó básicamente la forma de afrontar fenómenos como éstos, de gran complejidad y los ambientes software para presentarlos.

Las actividades que el usuario puede realizar a través de la interfaz, son expuestas en la figura 9 y están orientadas a facilitar la interacción con los modelos, desarrollados, permitiendo la selección de la situación, modificación de valores de las variables contempladas y por ende obtener un mejor análisis sobre los comportamientos de las variables más significativas en la situación seleccionada. En la figura 10 se aprecia un posible comportamiento de los grupos etarios, con valores iniciales asignados en la parte superior y valores biofísicos asignados en los controles de la izquierda.

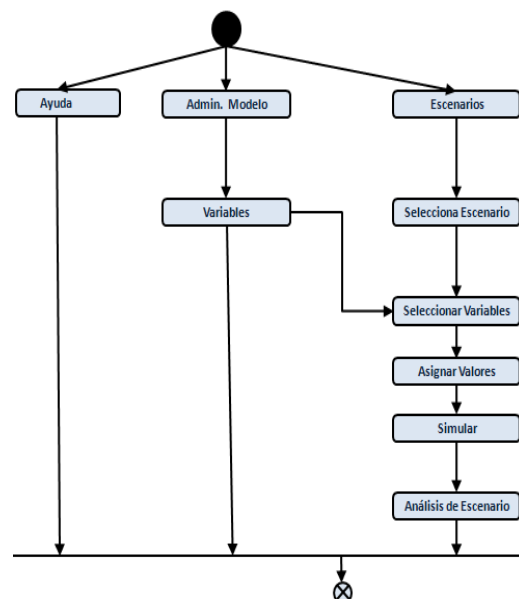


Figura 46. Diagrama de actividades de la interfaz

4. RESULTADOS

Las pruebas del modelo fueron soportadas con el apoyo de estudiantes de Tecnología Agroindustrial del INSED (Instituto de Educación a Distancia de la UIS), la cuales permitieron en primera instancia presentar una herramienta que facilite la construcción del modelo mental que describe el fenómeno, posterior a ello se hicieron pruebas poblacionales, las

cuales se confrontaron con datos adquiridos por la experiencia del docente Carlos Aníbal Vázquez, quien aprobó los resultados. Al igual en la parte económica, los resultados dependen de los valores que se dan a las variables para cada uno de los escenarios, estos se fueron asignando según los requerimientos del grupo.

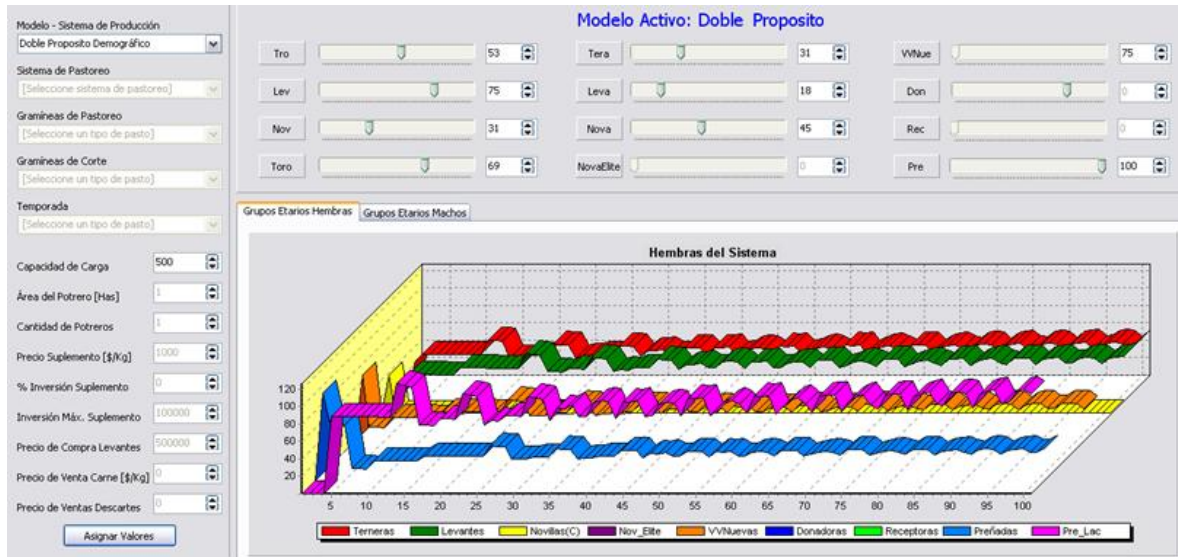


Figura 47 Interfaz para el uso del modelo

5. CONCLUSIONES

El Modelo de simulación de ganadería bovina intensiva es una herramienta útil para docentes y estudiantes de sectores agroindustriales y para productores de bovinos en general. Además, mediante el modelo es posible comprender los efectos de intensificar las rutinas alimentarias que se ejercen en ganadería bovina extensiva, apreciando mayores ganancias de peso y mayor producción de leche y carne, en períodos más cortos. Estos aprendizajes aportan a que las fincas ganaderas se administren de manera tal que obtengan mayor participación y competitividad en los mercados actuales, y en general a que se gestionen con decisiones apoyadas en el conocimiento de propietarios, productores y especialistas.

A pesar de que el grado de complejidad de los modelos iba aumentando a medida que el proceso de modelado avanzaba en los prototipos, el Modelo de simulación de ganadería bovina intensiva explica de forma comprensible, a usuarios inexpertos, las relaciones entre los sectores demográficos, biofísicos, productivos y económicos; y muestra, mediante simulaciones bajo diferentes escenarios, los posibles comportamientos en la práctica de la ganadería intensiva.

La continuidad en esta área de investigación, en el grupo SIMON, ha permitido profundizar en fenómenos del sector agroindustrial; obteniéndose cada vez mejores resultados y modelos de mayor complejidad pero más fácil de comprender por el usuario final y con mayor comodidad para su operación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE SOSA, Hugo H. y Otros. Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad. Ediciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2001.

Colaboradores de la ganadería el Portal Ganadero. 2007. Disponible en http://www.laganaderia.org/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=28.

CHAJÍN ORTIZ, Verónica. JIMÉNEZ FLÓREZ, Nidia. ANDRADE SOSA, Hugo. GÓMEZ, Urbano Eliécer. Modelo de simulación de ganadería bovina intensiva. Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. 2010

GÓMEZ, Urbano Eliécer. Lineamientos metodológicos para la construcción de modelos agroindustriales identificables en términos de dinámicas poblacionales basados en el pensamiento sistémico y la Dinámica de Sistemas. 2010.

GÓMEZ, Urbano Eliécer; BARRAGÁN, Ómar; ANDRADE SOSA, Hugo. Modelo de simulación de Sistemas de Producción de ganadería bovina para la investigación integral SIPROB 1.0, 2002.

LAFaurie RIVERA, José Félix. Federación Colombiana de Ganaderos, FEDEGAN. Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019. Editorial Sanmartín Obregón & Cía. Bogotá, D.C. noviembre de 2006.

PHILLIPS, C.J.C. Principios de producción bovina. Traducido por: GEORGE, David. Edición en lengua española. Editorial Acirbia S.A., Zaragoza, España. 2003.

RUIZ GARCIA, Yadira; SILVA OLIVARES, Rubiela. Herramienta Software para el aprendizaje del manejo de un sistema de producción de ganadería bovina, mediante simulación con Dinámica de Sistemas y un enfoque sistémico SIPROB 2.0, 2007.

SANTANA, Alfonso; CAMACHO, Camilo y Otros. Competir e innovar, la ruta de la industria bovina. Primera Edición, publicado por FEDEGAN-FNG. Editorial Una Tinta Medios Ltda. Bogotá D.C., 2009. P. 42

LOGÍSTICA Y PRODUCTIVIDAD

Simulación de la cadena de abastecimiento de una empresa de producción y distribución de baterías eléctricas

Simulation of supply chain of an electric batteries production and distribution enterprise

Sergio A. Ramírez E., MSc., Guillermo L. Carmona G., Ing., Jaime A. Castro U., estudiante
Universidad EAFIT
sramire@eafit.edu.co, gcarmona@eafit.edu.co, jcastrou@eafit.edu.co

Resumen: este artículo presenta un modelo de simulación de la cadena de abastecimiento de baterías eléctricas de la empresa Tronex S.A. Para la modelación de la cadena se empleó la metodología de Dinámica de Sistemas, y el software Ithink® como herramienta de simulación. Se evaluó el comportamiento del modelo mediante una serie de pruebas, particularmente la inspección directa de las ecuaciones y ensayos bajo condiciones extremas, entre otras. Por último, se analizaron diferentes escenarios, buscando políticas y parámetros que permitieran mayores beneficios a nivel táctico. La simulación de los diferentes escenarios permitió concluir que, tanto los niveles de inventario en los CEDI regionales, como la frecuencia de envíos desde la planta central, pueden disminuirse considerablemente sin afectar el nivel de servicio y generando una reducción del 11,92% en los costos de operación.

Palabras Clave: Dinámica de Sistemas, cadena de suministros, inventarios, nivel de servicio, modelación, costos.

Abstract: This work proposes a simulation model of electric batteries supply chain of Tronex S.A. enterprise. To model the supply chain, dynamics systems methodology was applied and the software Ithink® as simulation tool. The model behavior was evaluated through a series of tests, especially direct inspection of equations and tests under extreme conditions, among others. Finally, different scenarios were analyzed, looking for policies and parameters that allowed the greatest benefits at tactical level. The

simulation of the different scenarios enabled to conclude that, as inventory levels at regional distribution centers, as shipments frequency from the central plant, can be decreased considerably without affecting service level and generating a reduction of 11,92% in operational costs.

Key words: systems dynamics, supply chain, inventories, service level, modelling, costs.

1. INTRODUCCIÓN

La administración de la cadena de suministros (SCM) ha sido orientada durante los últimos años a la optimización del desempeño de la cadena logística en términos de costos y tiempos [1]; de allí la relevancia que han tomado los diferentes métodos de modelación y simulación, con miras a construir herramientas de apoyo en los procesos de análisis, comprensión y toma de decisiones.

Uno de dichos métodos lo constituye la Dinámica de Sistemas, metodología que modela la realidad mediante el uso de los diagramas de flujo y stocks planteados por Jay Forrester [2] y busca comprender las razones por las cuales los sistemas describen un comportamiento determinado y cómo influir sobre ellos para obtener unos resultados deseados.

Por consiguiente, se desarrolló un modelo de simulación en Dinámica de Sistemas de la empresa Tronex Battery Company S.A. [4], con el cual se recreó la cadena de abastecimientos de una compañía dedicada a la fabricación y distribución de baterías eléctricas, con centros de distribución alrededor de todo Colombia y una planta de producción central.

Mediante dicha simulación se buscó determinar las mejores estrategias para el control de inventarios evaluadas en términos de costos y nivel de servicio ofrecido al cliente.

2. METODOLOGÍA

Para el diseño del modelo se siguieron los cinco pasos recomendados por Morecroft [4] que se ilustran en la figura 1:

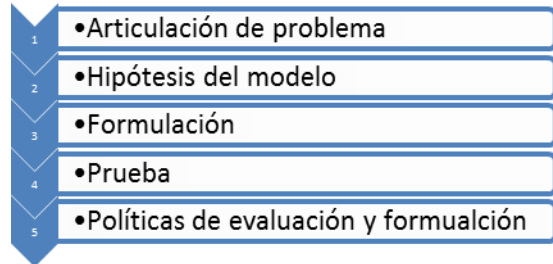


Figura 1. Metodología seguida

En el paso uno se realizó la definición de las variables a incluir en el modelo, definiendo hasta dónde debe extenderse éste en la cadena de abastecimiento de la empresa, tanto hacia atrás (proveedores, proveedores de éstos, etc.) como hacia delante (clientes directos, clientes de los clientes, etc.). Igualmente, es necesario establecer con mucho cuidado el nivel de detalle con el cual se construirá el modelo, de tal forma que refleje adecuadamente el comportamiento general de la cadena de suministros de la empresa sin caer en pormenores o datos demasiado precisos que poco aportan o que no son significativos en el comportamiento del sistema.

Con el objetivo de lograr una mayor aproximación del modelo a la realidad, se realizaron múltiples visitas a una compañía dedicada a la fabricación y distribución de baterías eléctricas en la ciudad de Medellín y se decidió elaborar el modelo con base en su estructura operacional. Para ello, luego de reconocer la manera en que se daba el flujo de materiales e información a lo largo de su cadena, se construyó el diagrama causal que se ilustra en la figura 2, en donde pueden observarse las relaciones existentes entre las principales variables que conforman el sistema.

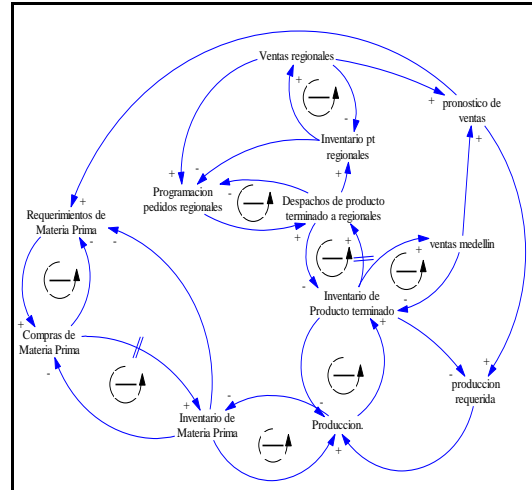


Figura 2. Diagrama causal del modelo

A continuación se procedió a elaborar un diagrama de flujos y niveles constituido por cinco subsistemas principales: reabastecimiento, producción, producto terminado (distribución), ventas y subsistema de indicadores y costos.

Luego de reconocer la estructura adecuada del sistema, se procedió a la etapa de formulación del mismo; en donde a partir de sistemas matriciales, se modeló matemáticamente la cadena de abastecimientos para cada una de las referencias de productos.

Posteriormente se prosiguió con la validación del modelo, evaluando qué tanto se ajustaban los resultados cuantitativos y cualitativos, simulados a partir de datos históricos, a lo que se esperarían en la realidad.

Finalmente, una vez se logró obtener un modelo robusto, se comenzó con la etapa de simulación escenarios. En esta etapa, se cambiaron diferentes variables y se determinó cuál era la influencia de dichas perturbaciones en el comportamiento del sistema, para luego determinar cuál sería uno de los escenarios óptimos al que debería llegar la empresa en términos de costos y nivel de servicio.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Se modeló una cadena de suministros para la producción y distribución de tres referencias de baterías eléctricas: referencias D, AA y AAA. Para ello se elaboraron cuatro subsistemas comunes a cada referencia a partir de matrices y un subsistema de producción único para cada tipo de producto, pues se

diseñó una línea de producción para cada uno de ellos.

El abastecimiento de la demanda comienza a partir del subsistema de reabastecimiento. Para el control de inventarios se utiliza un modelo de punto de reorden; la compañía evalúa si la cantidad total de inventario de materia prima (el inventario en existencias físicas y en tránsito) se encuentra por encima del punto de reorden, de no ser así se libera una orden de compra de materia prima que puede tardar hasta tres meses en llegar a las instalaciones de la planta, teniendo en cuenta que la mayor parte de los insumos son importados.

Al existir variabilidad en la demanda y el tiempo de entrega, el punto de reorden tiene en cuenta un stock de seguridad que pueda amortiguar dichas variaciones.

Al contar con inventario de materias primas, se libera producción en el subsistema de producción (Figura 3) de cada referencia; la cantidad a producir es estimada a partir de la cantidad existente de inventario de producto inventario y de los pronósticos de demanda que elabora el departamento de ventas.

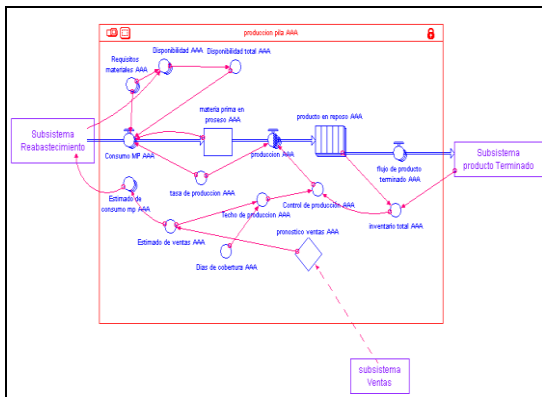


Figura 3. Subsistema de producción para baterías AAA

Después de la producción, se pasa al almacenamiento y distribución de los productos a cada uno de los CEDIS regionales. Los envíos a los centros de distribución regional se realizan cada dos semanas en el subsistema de producto terminado; sin embargo, cada CEDI reporta semanalmente sus niveles de inventario con el fin de tener conocimiento del estado actual de sus existencias.

Finalmente, el subsistema de indicadores y costos permite conocer a nivel general cuáles son los costos totales generados por las operaciones y el nivel de servicio ofrecido al cliente en el ciclo.

El horizonte de simulación que se ha tomado es de doce meses y dentro de los costos totales se han tenido en cuenta los costos de mantener inventario (tanto de materia prima como de producto terminado); los costos variables de producción y los costos de despacho de pedidos a los CEDIS.

4. RESULTADOS

Una vez construido el modelo, se procedió a realizar un análisis de sensibilidad perturbando algunas variables clave y comparando entre sí los resultados obtenidos (Tabla 1). Las principales variables alteradas fueron la frecuencia de envío a los CEDI, el stock de seguridad de materia prima y los días de cobertura del inventario de producto terminado.

Tabla 1. Resultados del análisis de sensibilidad

ESCENARIOS	NIVEL DE SERVICIO	COSTO INVENTARIO DE PRODUCTO TERMINADO(\$)	COSTO DESPACHOS (\$)	COSTO INVENTARIO DE MATERIA PRIMA (\$)	COSTO PLANTA (\$)	COSTOS TOTALES (\$)
ESCENARIO 1	100%	413.743.543,08	40.865.248,00	230.962.624,04	202.212.733,33	887.784.148,45
ESCENARIO 2	100%	349.256.331,52	40.865.248,00	189.612.576,27	202.212.733,33	781.946.889,13
ESCENARIO 3	100%	365.118.568,47	40.865.248,00	230.721.423,18	202.212.733,33	838.917.972,98
ESCENARIO 4	100%	348.574.200,10	24.132.752,00	235.460.904,14	202.212.733,33	810.380.589,58
ESCENARIO 5	100%	337.593.504,09	88.363.416,00	192.114.609,06	202.212.733,33	820.284.262,48

El escenario 1 representa las condiciones iniciales del sistema, mientras en el escenario 4 se simuló ¿qué sucedería si se disminuyera la frecuencia de envío hacia los CEDI regionales? y en el escenario 5 se realizó una combinación de parámetros a partir de los resultados arrojados por los primeros cuatro escenarios.

5. CONCLUSIONES

Se construyó un modelo en Dinámica de Sistemas que permitió conocer el comportamiento de la cadena de abastecimientos de una compañía productora y comercializadora de baterías eléctricas. Con base en dicho modelo se valoraron diferentes políticas de control de inventarios y se lograron determinar unas condiciones de operación más adecuadas a las que se conocían inicialmente.

Mediante la simulación de los cinco escenarios se lograron disminuir los costos totales de operación hasta en un 11,92% sin afectar el nivel de servicio; dicha reducción se presentó en el escenario 2, en

donde se había disminuido el stock de seguridad en un 66%.

Por consiguiente, se encontró que los niveles de inventario de materia prima y producto terminado, eran mayores a lo realmente necesario y podían reducirse sin disminuir el nivel de servicio.

Finalmente, se determinó que la frecuencia de envíos a los centro de distribución podía ser menor, ya que los niveles de inventario eran suficientemente grandes como para abastecer la demanda durante más tiempo sin presentar agotados. De esta forma, se podrían reducir también los costos de despacho y transporte.

6. REFERENCIAS

[1] BALLOU, R. H. Logística administración de la cadena de suministro; Pearson Educación; México, 2004; pp.1- 61.

[2] FORRESTER, J. W. Dinámica Industrial; Editorial El Ateneo; Buenos Aires, Argentina, 1972; pp. 67- 84.

[3] MORECROFT, J. Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback systems approach. Chichester; John Wiley & Sons Ltd., 2007.

[4] SANTA GIRALDO J. URIBE OSSA J.; Modelo de simulación en Dinámica de Sistemas de la cadena de suministro de la empresa Tronex Battery Company S.A. [Tesis de Pregrado]; Medellín, Colombia: Universidad EAFIT; 2009.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos a la empresa de baterías eléctricas Tronex Battery Company S.A., por su valiosa colaboración y disponibilidad en el desarrollo de la presente investigación.

Modelo de Dinámica de Sistemas para evaluar el impacto de la ampliación de un proceso productivo de una panificadora

Systems Dynamics model to evaluate the impact of the expansion of a productive process of a bread factory

Guillermo L. Carmona G., Ing., Juan S. Montoya A., estudiante, Mónica Asuad F., estudiante, Sara C. Botero E., estudiante
Universidad EAFIT
gcarmona@eafit.edu.co, jmonto41@eafit.edu.co, masadf@eafit.edu.co, sboter11@eafit.edu.co

Resumen: Este trabajo presenta un modelo de simulación de la línea de producción de una empresa panificadora ubicada en la ciudad de Medellín. La empresa obtuvo un contrato para entregar diariamente una gran cantidad de un producto. Frente a este nuevo contrato la empresa planteó la utilización de una segunda multiformadora para dar cumplimiento al volumen de producción diario solicitado. Con la simulación del modelo se buscaba resolver algunos interrogantes que surgieron: ¿Es conveniente poner en funcionamiento la segunda multiformadora para disminuir el tiempo de ciclo del proceso? ¿Se requieren más bandejas para colocar el pan? Para la elaboración del modelo se utilizó la metodología de Dinámica de Sistemas y el software Ithink como herramienta de simulación. Con el modelo se realizaron diferentes escenarios para evaluar el impacto de algunas decisiones. Los resultados arrojados permitieron dar respuesta a los interrogantes iniciales y adquirir una mayor comprensión de la línea de producción. Se pudo concluir que la ampliación de la capacidad de la multiformadora no era conveniente, pues no tenía un impacto relevante sobre el tiempo de ciclo, ya que éste no era el proceso crítico o cuello de botella; por el contrario, generaba costos innecesarios en mano de obra y la calidad del producto podía disminuir.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, línea de producción, simulación, cuellos de botella.

Abstract: This work presents a simulation model of a production line of a bread factory located in the city of Medellin. The company got a contract to deliver

daily a great quantity of a product. To face this contract, the company proposed the use of a second machine to meet the required production. The simulation of the model was intended to solve certain questions that came up: Is it convenient to put a second machine to work to reduce cycle times?; More trays to put the bread are needed? To model the production line, the methodology of Systems Dynamics and the software Ithink were used as simulation tools. With the model, different scenarios were performed to evaluate the impact of some decisions. The results given by the model allowed to give answer to the initial questions and to gain a better comprehension of the production line. It was concluded that the expansion of the capacity of the machines wasn't convenient, since there wasn't a relevant impact on the cycle times because those machines were not the critical process or bottlenecks; on the contrary, it generated unnecessary costs of manpower and the quality of the product could decrease.

Key words: systems dynamics, production line, simulation, bottlenecks.

1. INTRODUCCIÓN

En una empresa panificadora de la ciudad de Medellín surgieron ciertas inquietudes como resultado de un nuevo contrato de gran volumen. Esa situación conduce a la empresa a evaluar la posibilidad de ampliar su línea de producción, decisión de gran impacto, ya que se necesitaría de la

contratación de más personal y posiblemente la adquisición de más recursos, por ende se generarían nuevos costos.

Teniendo en cuenta que el impacto de tal decisión no es fácil de observar, pues se trata de un sistema complejo que cambia con el tiempo, frente al cual, como lo afirma Jay Forrester, nuestro juicio intuitivo no es digno de confianza [1]; se crea entonces la necesidad de desarrollar un modelo aplicado a la empresa, utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas para lograr un análisis mucho más profundo y dar respuesta a las inquietudes generadas por el nuevo contrato.

Los modelos de Dinámica de Sistemas permiten recrear situaciones reales en mundos virtuales, donde se puede observar el impacto de nuestras decisiones en sistemas complejos de forma inmediata, permitiéndonos replantear nuestros modelos mentales y por ende tomar mejores decisiones respecto de una situación real [2].

Otro aspecto importante de los modelos de simulación es que permiten conocer más profundamente el sistema, ya que permiten evidenciar “cómo están conectados los detalles, cómo se influyen entre sí y cómo el comportamiento pasado y los futuros resultados surgen de las políticas de toma de decisiones y sus interconexiones” [3].

Este artículo muestra el problema al que se enfrentó la panificadora, el modelo de Dinámica de Sistemas que representa su línea de producción y los resultados obtenidos al evaluar diferentes escenarios.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El gerente de una empresa panificadora, ubicada en la ciudad de Medellín, precisaba información acerca de su capacidad para responder a un nuevo contrato de 13.500 unidades diarias de cierta referencia. Se consideró ampliar la capacidad para disminuir el tiempo de ciclo de producción habilitando una multiformadora adicional, puesto que sólo se tenía en funcionamiento una de ellas. Esta decisión implicaría la contratación de tres operarios más para manejar la multiformadora, generando costos adicionales por tres millones de pesos mensuales. Adicionalmente, se necesitaba saber la cantidad de bandejas necesarias para colocar el pan en la línea de producción. Existía incertidumbre frente a los beneficios que traería esta decisión: ¿Efectivamente se aumentaría la producción y se disminuiría el tiempo de ciclo, por el contrario, los tiempos de ciclo no se afectarían significativamente?

3. METODOLOGÍA

Para la modelación de la línea de producción se empleó la metodología de Dinámica de Sistemas y el software Ithink como herramienta de simulación. Inicialmente se obtuvo información acerca de la empresa y los procesos productivos que se llevan a cabo en la misma. Partiendo de esta información que incluía los tiempos requeridos para realizar cada actividad y las limitaciones de capacidad, se definieron las variables para construir un prototipo del modelo.

Se realizaron varias visitas a la empresa y entrevistas al personal para tener un mayor contacto con el proceso productivo, lográndose concebir una idea más clara del proceso y así realizar una comparación con respecto al modelo prototipo. Con esta información se mejoró el modelo aproximándolo más a la realidad.

Luego de tener el modelo completamente terminado, se prosiguió con la validación de éste, de forma tal que los resultados arrojados se ajustaran a lo que se esperaba en la realidad.

Posteriormente se simularon diferentes escenarios utilizando una multiformadora y utilizando dos simultáneamente, para determinar la influencia de esta decisión sobre el comportamiento del sistema.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se dio respuesta a los interrogantes planteados por la gerencia.

4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Con base en la información obtenida de la línea de producción se elaboró el modelo con diagramas de flujos y stocks (Ver **Figura 1**) mediante el software Ithink.

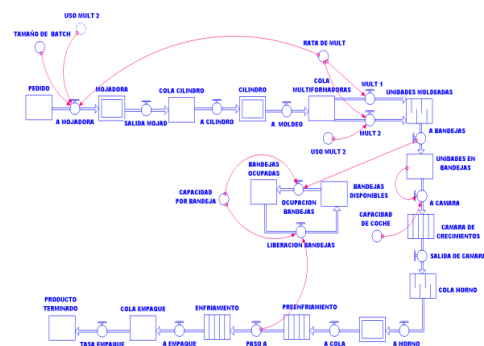


Figura 1. Modelo de línea de producción de la panificadora.

El modelo inicia con un pedido de 13.500 unidades diarias, que se distribuyen en lotes de 1.500 unidades. El primer proceso es el mojado, donde se mezclan todos los ingredientes; de allí pasa al cilindro donde la masa adquiere la textura deseada. Después del cilindro, la masa debe pasar inmediatamente al multiformado raya, donde no se deben crear colas de más de 10 minutos, pues el producto perdería las características adquiridas en el proceso anterior. En esta parte del modelo, es precisamente donde se toma la decisión de utilizar una sola multiformadora o dos simultáneamente.

Cuando la masa sale de la multiformadora, el pan es puesto en bandejas, con capacidad para 35 unidades, las cuales se ponen en carros para ser transportados al próximo proceso, la cámara de crecimiento. La cámara de crecimiento tiene una capacidad de 9.000 unidades; aquí el producto debe permanecer 120 minutos. Es importante que antes de este proceso no se generen colas, pues el producto perdería calidad.

Cuando el pan sale de la cámara de crecimiento pasa inmediatamente al horno, proceso que toma 14 minutos en hornear 1.500 unidades. Al salir el producto del horno, pasa a pre-enfriamiento durante 30 minutos. Posteriormente, el producto es trasladado de las bandejas a canastas donde terminará de enfriarse durante 60 minutos. Las bandejas liberadas quedan disponibles para ser reincorporadas al proceso. Finalmente, el producto se dispone a ser empacado a una razón de 50 unidades por minuto, obteniéndose al final de la línea el producto terminado.

5. RESULTADOS

A partir del modelo se evaluaron dos escenarios: con el uso de una multiformadora y con el uso de dos multiformadoras, para realizar una comparación respecto a los tiempos de ciclo y el comportamiento de las colas.

En la **Tabla 1** se comparan los tiempos en que se obtiene el producto terminado, la cola de la cámara de crecimiento y la cantidad de bandejas necesarias en ambos procesos.

Tabla 1. Resultados análisis de variables

	1 Multiformadora	2 Multiformadoras
Producto Terminado (Unidades)	13.500	13.500
Producto Terminado (min)	523	513
Valor máximo cola de cámara de crecimiento (Unidades)	1.500	4.500
Cantidad de bandejas en uso (Unidades)	450	450

En esta tabla se puede observar que al usar una sola multiformadora, el tiempo de ciclo es de 523 minutos y la cola máxima que se genera es de 1.500 unidades, lo que equivale a un lote, y tarda en esta condición 1 minuto. Al utilizar dos multiformadoras, el tiempo de ciclo se reduce 10 minutos, con una cola máxima en la cámara de crecimiento de 4.500 unidades, es decir, tres lotes. Esta cola de 4.500 unidades se mantiene constante por 40 minutos.

También se puede apreciar en la tabla que el número de bandejas necesarias en ambos escenarios es de 450 unidades.

A continuación se presentan gráficas del comportamiento de las colas que se generan en algunos partes del proceso productivo.

En la **Figura 2** aparece una gráfica comparativa entre las unidades en bandejas utilizadas en los dos escenarios. La línea roja representa el número de bandejas acumuladas antes de entrar a la cámara de crecimiento usando una sola multiformadora; y la línea azul representa las bandejas que se acumulan al usar ambas multiformadoras simultáneamente. Se puede apreciar que las bandejas acumuladas antes de la cámara de crecimiento usando dos multiformadoras crece notoriamente hasta alcanzar su punto máximo de 4.500 unidades, punto en el que permanece por 40 minutos como ya se había mencionado anteriormente; la acumulación de bandejas antes del proceso de crecimiento se debe a las limitaciones de capacidad del mismo.

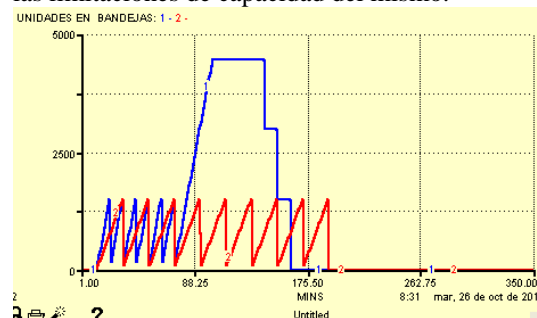


Figura 2. Simulación de unidades en bandejas para los 2 escenarios.

La **Figura 3** muestra cómo se ve afectada la cola de empaque en los dos escenarios. La línea roja representa la cola de empaque al usar una sola multiformadora; y la línea azul representa dicha cola usando ambas multiformadoras.

Usando una sola multiformadora la cola asciende hasta 5.450 unidades y usando dos multiformadoras alcanza un valor máximo de 6.050 unidades. Esta cola se crea debido a que la tasa de empaque es de 50 unidades por minuto, considerando además que los lotes son de 1.500.

La gráfica muestra que usando dos multifformadoras el proceso de empaque comienza antes que si se usara una sola multifformadora, pero la cola generada en este escenario es mayor.

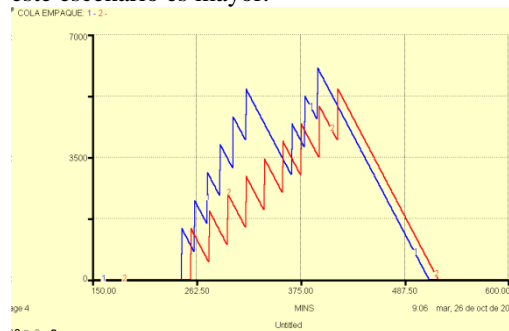


Figura 3. Simulación de la cola de empaque para los 2 escenarios.

6. CONCLUSIONES

La modelación de la línea de producción permitió observar diferentes escenarios para evaluar el impacto en el tiempo de ciclo al ampliar la capacidad de la multifformadora.

Los resultados obtenidos permiten observar que la contratación de tres personas más para manejar la segunda multifformadora era innecesaria, pues el tiempo de ciclo solo disminuye diez minutos. Evidenciando que éste no era el proceso crítico (cuello de botella) en la línea de producción como lo percibía inicialmente la empresa.

Se pudo apreciar que la cámara de crecimiento se convierte en un cuello de botella al utilizar ambas multifformadoras, haciendo que se incremente la cantidad de productos que se acumulan al llegar a este proceso, lo que impactaría negativamente la calidad del pan debido a los prolongados tiempos de espera.

Se pudo establecer que las bandejas disponibles en la empresa eran suficientes para satisfacer los requerimientos del proceso productivo.

De haber tomado la decisión de utilizar ambas multifformadoras, la empresa hubiera incurrido en unos costos innecesarios de mano de obra por \$3'000.000 mensuales y en pérdida de calidad del producto, decisión que se reversó teniendo en consideración los resultados arrojados por el modelo.

Con las simulaciones se pudo detectar que el punto crítico o cuello de botella principal de la línea de producción es la empacadora. Al respecto, la empresa ya está en proceso de compra de una empacadora de mayor capacidad.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al señor Juan Diego Montoya Ramírez, gerente de la Panadería y Repostería NOVAPAN, por brindarnos la oportunidad de conocer el proceso productivo de la empresa y además, la información necesaria para la realización del modelo.

8. REFERENCIAS

- [1] FORRESTER J. W. Dinámica Industrial; Editorial El Ateneo; Buenos Aires, 1972, pp. 13-15.
- [2] STERMAN J .D. Business Dynamics; Editorial McGraw Hill; Boston, 2000; pp. 34-37.
- [3] FORRESTER J. W. La Dinámica de Sistemas y el aprendizaje del alumno en la educación escolar.; <http://dinamica-sistemas.mty.itesm.mx/pdf/Rm1/Aprendizaje.pdf> (Citado 2 de Septiembre de 2010).

Impacto de la rotación de personal en las entregas a los clientes: un enfoque sistémico

Impact of staff turnover over the deliveries to customers: a system focus

Camilo Andrés Micán, Msc(c), Óscar Rubiano Ovalle, Phd., Juan Carlos Osorio, Msc.,
Rocío Ospina, Msc(c), Andrés Quintero, Msc(c)

Universidad del Valle

camilomican@colombia.com
oscaruba@pino.univalle.edu.co
josorio@pino.univalle.edu.com
rocio.ospina@hotmail.com
anfesq@gmail.com

Resumen: En este artículo se presenta el análisis dinámico de la rotación de personal a nivel organizacional y sus impactos en los niveles de carga laboral y en el cumplimiento de las ventas esperadas. Para ello, se ha construido un modelo que involucra las variables más importantes del sistema y se han establecido sus relaciones. Este modelo se corre utilizando el programa Vensim y se obtiene a partir del estudio de simulación importantes conclusiones sobre el sistema.

Palabras clave: pensamiento sistémico, rotación de personal, Dinámica de Sistemas.

Abstract: In this paper the dynamics analysis of staff turnover in the companies and its impacts in the labor charge levels as well in the expected sale level accomplishment is presented. In this way, a model involving the most important variables and relationships among them was built. The model was run in the Vensim program and important conclusions about simulation study were obtained.

Keywords: System Thinking, staff turnover, systems dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

En toda organización saludable es normal que se presente un pequeño volumen de entradas y salidas de recursos humanos, lo cual ocasiona una rotación vegetativa (conservación del sistema). Lo ideal es

que la rotación sea mínima, si se quiere que las operaciones mantengan un cierto nivel de estabilidad y sostenibilidad en el flujo de productos o servicios a los clientes. Sin embargo, existen factores que promueven la rotación en las organizaciones, afectando esta estabilidad y sostenibilidad. Adicionalmente, el enfrentar el problema de rotación implica incurrir en altos costos de contratación, entrenamientos y despidos.

Un síntoma que refleja falta de atención en el recurso humano y que debe preocupar a los directivos de una empresa es el de valores altos o poco estables en el índice de retiros. Actualmente, este síntoma es preocupación exclusiva del área de recursos humanos de una organización, y se puede notar en el comportamiento desinteresado de las demás áreas al respecto y en el intento aislado de recursos humanos enfocado solamente en mantener el nivel de personal según lo requerido para la operación, mediante el aumento de contrataciones o despidos tantas veces como sea necesario [1].

Se hace por lo tanto necesario el estudio de este fenómeno desde la perspectiva sistémica [2] [3], para considerar el impacto que puede generar en otros componentes de la organización, buscando con este artículo integrar el problema de la rotación de personal con el componente productivo de las organizaciones. Si bien esta publicación representa una primera aproximación, también permite llegar a conclusiones importantes y se espera sienta precedentes para futuros trabajos en la materia.

2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA

La base del sistema [4], está dada por las contrataciones y los retiros (renuncias-despidos), y su impacto sobre la plantilla de trabajadores. Siendo el objetivo del sistema mantener la plantilla de trabajadores acorde a los requerimientos de la demanda a través de los efectos compensadores entre contrataciones, planta actual y entre retiros y plantilla actual [5].

Sin embargo, existen factores que promueven la rotación en las organizaciones, afectando esta estabilidad y sostenibilidad. Adicionalmente, enfrentar el problema de rotación implica incurrir en

altos costos de contratación, entrenamientos y despidos.

De otro lado, el buscar la estabilidad de la planta de trabajadores representa inversiones en salarios y mantenimiento y mejora de las condiciones del ambiente de trabajo, y al representar una inversión, la mejora de los indicadores de rotación de personal puede en algunos casos ser relegada a segundos planos por los directivos, puesto que al fin y al cabo es invertir en la gente y qué sentido tiene esto, si las personas no están permaneciendo en la organización y por tanto pareciese que dicha inversión se perderá. La **figura 1** presenta el mapa del problema bajo las condiciones ya descritas.

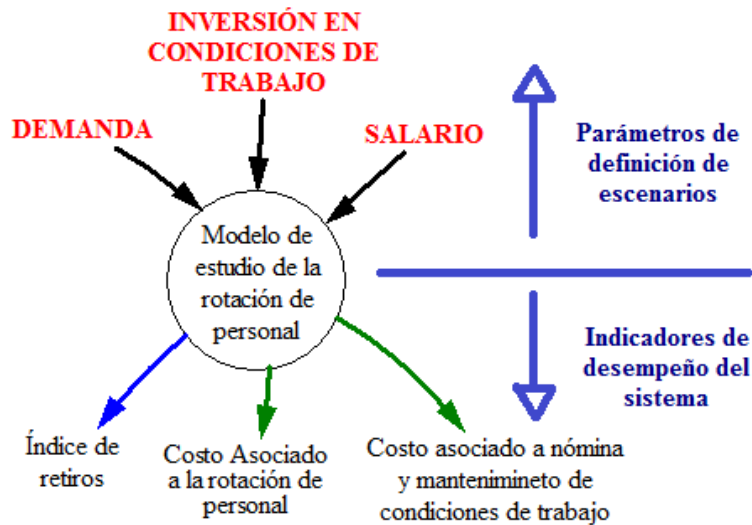


Figura 1. Mapa del problema

3. ESTRUCTURA CAUSAL

Tal como se planteó en el numeral anterior, la rotación de personal corresponde a una métrica descriptiva de la organización, determinada por las variaciones en la plantilla de trabajadores, a causa de los efectos compensadores entre contrataciones, retiros y plantilla actual.

Parte de las variaciones de la plantilla de trabajadores se debe a los esfuerzos por ajustar la capacidad de la planta a las condiciones de demanda de cada periodo, por lo que el aumento en la demanda conduce a que se requiera mayor personal para satisfacerla, por lo que los valores de la variable "brecha" (que define la necesidad de contratación de personal, obtenida a partir de la diferencia entre la plantilla actual de trabajadores y la plantilla esperada) también aumentarán

Figura 2-, conduciendo esto a la necesidad de nuevas contrataciones. Este ciclo se representa mediante un bucle de compensación del sistema que busca estabilizarlo partir de el cumplimiento de la plantilla deseada.

De otro lado, el indicador que para efectos prácticos hará las veces de la denominada métrica "rotación de personal", será la variable llamada índice de retiros – **Figura 2-**, la cual, si se desempeña en valores altos, impacta después de un tiempo la percepción tanto interna como externa de la estabilidad del empleo en la organización, lo cual conduce a que la empresa sea menos atractiva para sus empleados actuales y potenciales. Esta percepción negativa en los empleados actuales conduce finalmente a generar mayores renuncias, constituyéndose un bucle reforzador que involucra el índice de retiros – **Figura 2-**.

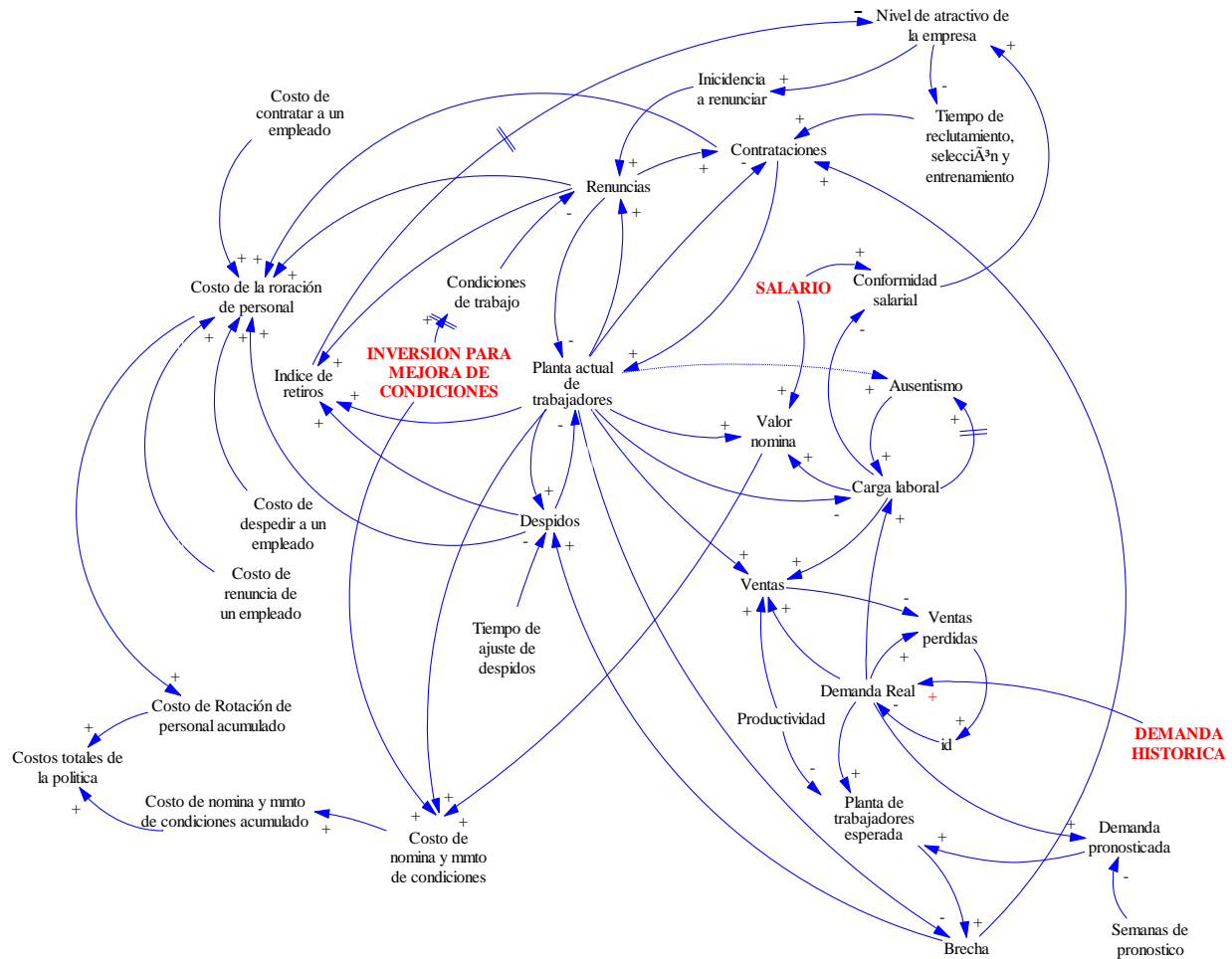


Figura 2. Diagrama causal del sistema estudiado

Adicionalmente, un menor nivel de atractivo de la empresa impactado por un alto índice de retiros, genera que una persona del mercado laboral disminuya su disposición a ser seleccionada por la organización, lo que conduce a mayores tiempos de selección y contratación.

También se determinó -Figura 2- que el aumento de la carga laboral genera menor conformidad salarial (se estaría pagando lo mismo por realizar mayor trabajo), haciendo esto que el atractivo de la organización para sus empleados y para el mercado laboral se afecte negativamente, aumentando de nuevo los tiempos de selección y contratación.

Los mayores tiempos de selección llevan a que la plantilla de personal se nivele lentamente, y no con la rapidez esperada por los directivos. Sin embargo con el tiempo las contrataciones afectan positivamente la plantilla de trabajadores distribuyendo entre más personal la carga existente y en consecuencia, disminuyendo la carga laboral por trabajador,

constituyéndose en un bucle compensador del sistema.

Durante los periodos de contratación, mientras se logra ajustar la plantilla a los niveles esperados, se producirá insatisfacción del cliente, puesto que no se cumple cabalmente con los requerimientos de demanda (ya que no se contaba con la plantilla suficiente), lo que a su vez generará ventas perdidas, lo cual repercutirá en un mayor impacto sobre la demanda (variable "id" en la figura 2) y por ende en la disminución de la misma en periodos futuros.

Los retiros tienen dos orígenes, el primero corresponde a renuncias (producidas por la disminución del nivel de atractivo de la empresa). El segundo corresponde a los despidos, los cuales aumentan en la medida en que la carga laboral por persona sea inferior a los niveles esperados, es decir, cuando la carga laboral por empleado disminuye, se interpreta que hay exceso de trabajadores, conduciendo a decisiones de disminución de la

plantilla a través de los despidos, sin embargo estos despidos se realizan gradualmente ajustados a una tasa de despidos. Una vez se empiezan a hacer efectivos los despidos, la plantilla de personal disminuye afectando directamente la brecha de trabajadores, constituyéndose un bucle compensador del sistema.

Finalmente todas las causalidades presentadas se ven reflejadas en indicadores de costo por periodo asociado, en algunos casos al costo propio de la contratación (proceso de selección, capacitación, curva de aprendizaje), así como a los costos de renuncias o despidos (indemnizaciones), constituyéndose estos rubros en los costos directos de la rotación del personal.

De otro lado, también se encuentran los costos asociados al mantenimiento o inversión en mejora de las condiciones de trabajo y de pago de la nómina. Acumulándolos finalmente en una sola variable que representa la política de contratación, carga laboral y niveles salariales de la empresa.

4. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Una vez estudiadas las estructuras causales del sistema se modeló en el software Vensim, para lo cual en primera instancia se planteó en diagrama de Forrester [6] [7] –**Figura 3-**

En el desarrollo del mencionado diagrama de Forrester, la variable Planta actual de trabajadores, al igual que las variables acumuladoras de costos y utilidades, se consideran como variables de nivel o variables acumuladoras, ya que representan en sí mismas un “inventario”.

Las variables “Contrataciones”, “Renuncias” y “Despidos”, se constituyeron en variables de flujo, ya que representan la cantidad de personas que son contratadas y que se retiran de la empresa por periodo de tiempo, respectivamente, siendo esto una clara representación de este tipo de variables en términos de la entrada y salida a una variable de nivel, como lo es la planta actual de trabajadores. Situación similar ocurre con las variables de flujo de los costos y utilidades hacia sus respectivas variables de nivel – **Figura 3-**

En el caso de la variable auxiliar “incidencia a renunciar”, fue necesaria su representación mediante la inclusión de funciones no lineales, por tratarse de un modelo que involucra aspectos del

comportamiento humano, en donde el nivel de atractivo de la empresa es la variable de entrada y un crecimiento en los valores de dicha variable de entrada generan un decrecimiento en la incidencia a renunciar, tornándose poco incidente en la medida en que el nivel de atractivo de la empresa varía entre 0.7 y 1.

El modelo ilustrado mediante el diagrama de Forrester de la **figura 3**, fue simulado para 48 periodos de tiempo en donde cada periodo corresponde a una semana laboral (es decir, se ha simulado un año). Una vez simulado el modelo, se generaron escenarios y se obtuvieron los resultados que se ilustran en la **figura 4**, la **figura 5** y la **figura 6**.

Para obtener los resultados presentados en las figuras 4 y 5 se analizaron tres escenarios; el primero de ellos corresponde a la simulación con las condiciones base de los parámetros ilustrados en la **figura 1**, dichas condiciones base corresponden a un salario mensual de \$516.500 y una inversión semanal en condiciones de trabajo de \$15.000 por persona; en el segundo escenario se incrementó el valor de la inversión en condiciones de trabajo en \$10.000 e igualmente el valor del salario por persona se aumentó a \$546.500; finalmente, en el tercer escenario el parámetro inversión en condiciones de trabajo se mantuvo en el valor del segundo escenario (\$25.000) y el parámetro salario se aumentó nuevamente en \$30.000 respecto al escenario anterior, tomando un valor de \$576.500 por persona.

De las figuras 3 y 4 se puede observar cómo el aumento de los niveles salariales y de la inversión en condiciones de trabajo conducen a disminuir el índice de rotación de personal, lo que a su vez también incide positivamente en la disminución de ventas perdidas. En estas mismas figuras también se observa que tanto el nivel de rotación del personal como el nivel de ventas perdidas no responden linealmente a las variaciones en los niveles salariales de los empleados de planta, puesto que para esta segunda variación del parámetro salario no se presentó el mismo nivel de amplificación en la reducción de la rotación ni de las ventas perdidas.

Otro aspecto para resaltar de los tres escenarios simulados es el que se presenta en la **figura 6**; en esta figura se puede ver claramente cómo los costos totales acumulados de las 48 semanas simuladas en términos de los dos primeros escenarios no varían de manera considerable, es decir, a pesar de que se aumentó tanto el nivel salarial como la inversión

semanal en mejora de las condiciones de trabajo, los costos totales se mantienen constantes. Lo anterior se debe, con base en la **figura 4**, a que el aumento en ambos parámetros (entre el escenario 1 y 2) se vio reflejado en la disminución considerable del índice de retiros, lo que a su vez condujo a que los costos asociados a las contrataciones, los despidos y las renunciaciones se redujeran y compensaran las inversiones realizadas.

Sin embargo, un nuevo aumento del nivel salarial como el simulado en el escenario 3, no genera el

mismo efecto en términos de costo. La afirmación anterior se basa en los resultados planteados en la **figura 6**, la que muestra que este último aumento de los salarios conduce a un aumento importante del costo acumulado de la política respecto a los otros dos escenarios simulados, aunque esta recuperación del capital invertido se podría valorar mediante la cuantificación de los ingresos por las ventas que no se perdieron, presentadas en la **figura 5**.

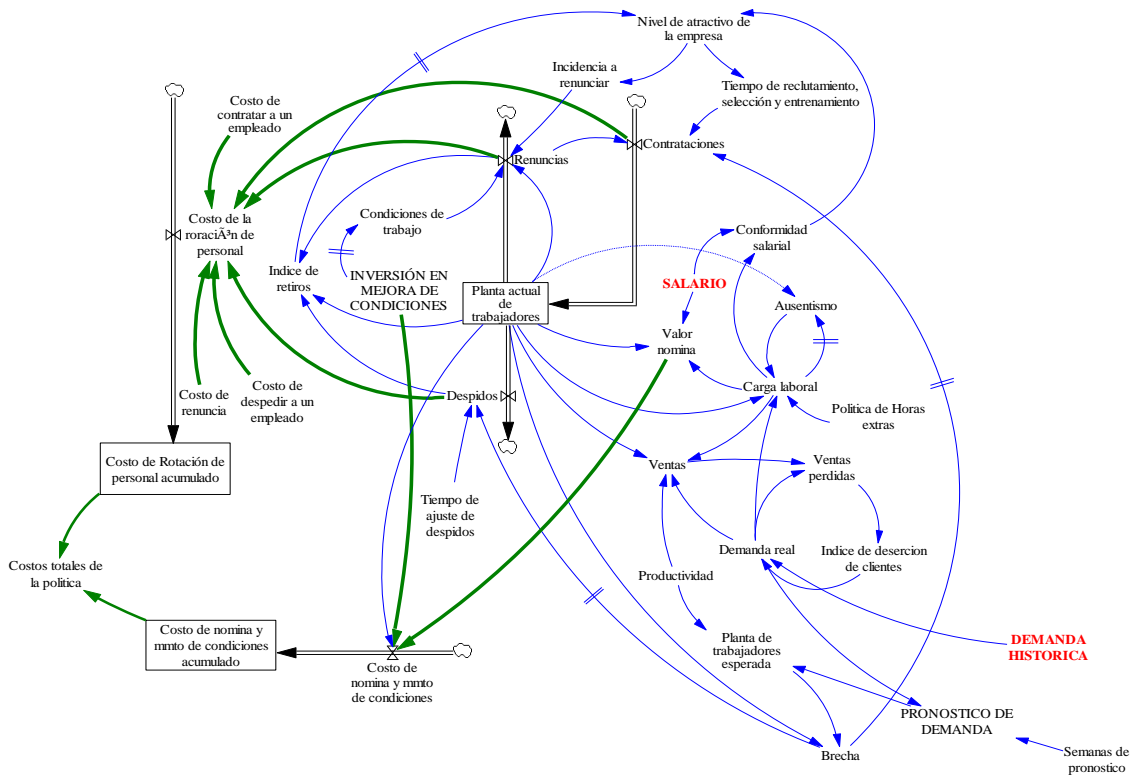


Figura 3. Diagrama de Forrester del sistema modelado

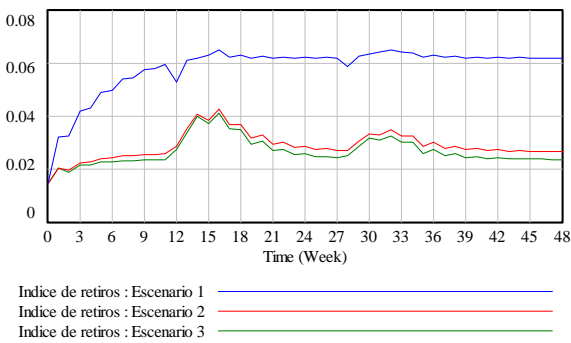


Figura 4. Resultados de la simulación para el índice de retiros

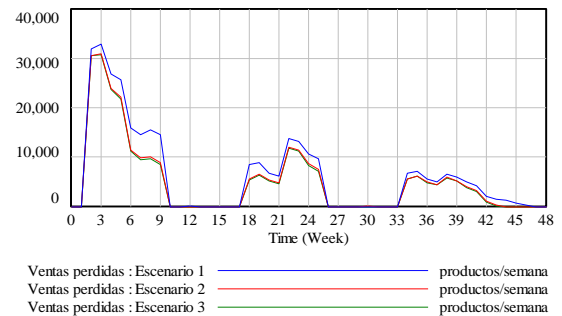


Figura 5. Resultados de la simulación para el nivel de ventas perdidas

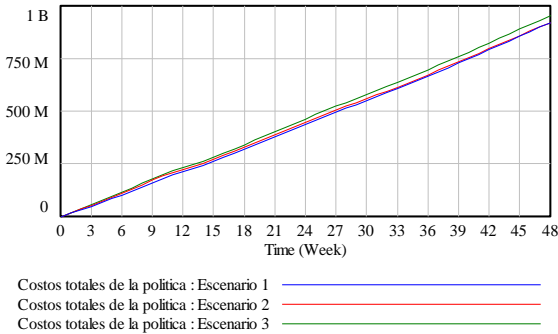


Figura 6. Resultados de la simulación para los costos totales de la política

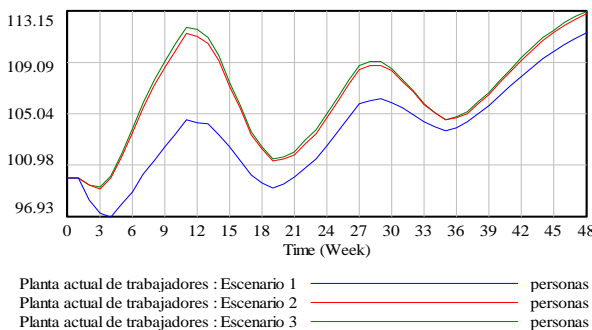


Figura 7. Resultados de la simulación para la variable de nivel planta actual de trabajadores

Finalmente, otro aspecto para resaltar de los resultados de la simulación es el referente al comportamiento de la variable de nivel “Planta actual de trabajadores” –Figura 7–. Se puede ver cómo en el escenario 1 se presentan los menores niveles de planta de trabajadores, y que para las condiciones de los escenarios 2 y 3 esta plantilla de trabajadores aumenta, este crecimiento podría llevar a pensar que el costo total de la política aumenta debido al pago de una nómina más grande, sin embargo, la disminución de la rotación de personal influye, tal como ya se había mencionado, directamente en la disminución de los costos compensando el crecimiento del valor de la política –Figura 6–.

5. CONCLUSIONES

Se logró modelar de manera sistémica la rotación del personal y sus relaciones primarias con el procesamiento del producto, mostrando de esta manera el impacto que puede llegar a tener una alta e

inestable rotación de personal sobre la capacidad de producción de una organización y esto a su vez sobre el nivel de ventas perdidas.

Es importante resaltar los resultados en términos de compensación económica de los cambios en la política de rotación de personas, puesto que se evidenció que la inversión en condiciones de trabajo y aumentos salariales conduce por cuenta de la disminución de los costos asociados a renuncias, despidos y contrataciones a la compensación de la inversión y en algunos casos a disminución de los costos totales de la política de mano de obra, mostrando así el impacto de la rotación de personal en términos de ahorro de recursos financieros.

El sistema planteado aún conserva limitaciones en su modelación, puesto que no considera el impacto monetario de las ventas que no se pierden por motivo de la disminución de la rotación de personal, esta tarea corresponde a futuros desarrollos mediante los cuales se pretende determinar el punto óptimo, en términos económicos, entre los costos asociados a la inversión en condiciones de trabajo y al nivel salarial de la planta frente al margen percibido por concepto de las ventas adicionales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] YOUNG, S y HWANG, L. A system dynamics approach to the hospital nurse turnover problem in Taiwan. The 13th International conference of the system dynamics society. (1995)
- [2] ANDRADE, Hugo y otros. Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad, 1^a Edición, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (2001)
- [3] SENGE, P. La quinta disciplina en la práctica. Estrategias y herramientas para construir la organización abierta al aprendizaje. Granica. 1994.
- [4] RODRÍGUEZ, Andrés y otros. Causas y efectos del ausentismo laboral (1996).
- [5] GUZMÁN, Alejandro. Fuga de tecnología en la rotación de personal. (1999).
- [6] ARACIL, J. Dinámica de Sistemas. Edición 4. Gráficas Marte S.A. 1995
- [7] GARCIA, Juan Martín. Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. 2003.

Finanzas, colaboración y “efecto látigo” en la cadena de abastecimiento: una aproximación a través de la Dinámica de Sistemas

Supply chain finance: a system dynamics

Fernando A. Arenas G., M.Sc.

Universidad ICESI – Grupo de investigación ICUBO

faarenas@icesi.edu.co

Resumen: Los sistemas de colaboración en la cadena de abastecimiento, han sido objeto de amplio estudio en la literatura académica, sin embargo, es escasa la investigación que relaciona la aplicación de estos sistemas con la atenuación del “efecto látigo” y, paralelamente, con el desempeño financiero de la cadena. El presente trabajo pretende, a través de la simulación sobre un modelo de Dinámica de Sistemas, que describe una estructura genérica de cadena de abastecimiento, establecer la influencia que ejercen dos características propias de algunos sistemas de colaboración, la información compartida sobre la demanda final y el establecimiento de políticas de inventario de la cadena por parte del proveedor, tanto sobre el “efecto látigo” como sobre el desempeño financiero de la cadena, medido este último a través de indicadores financieros considerados habitualmente como estratégicos: el flujo de caja y el retorno sobre activos. Simultáneamente se estudia si existe una relación entre el “efecto látigo” y el desempeño financiero de la cadena.

Palabras Clave: cadena de abastecimiento, colaboración, efecto látigo, desempeño financiero.

Abstract: Collaboration in the supply chain and the systems used to manage it, have been topics frequently studied by researchers. However, is hard to find research pertaining to the relationship between the application of these systems and its effect not only in the “bullwhip effect” but in the financial performance of the supply chain. This paper aims to study, through the simulation of a system dynamics model, how some characteristics of collaboration systems are related to the bullwhip effect and to financial performance. In a parallel way, the effect of bullwhip effect on financial performance is also studied.

Keywords: Supply chain, logistics, collaboration, bullwhip effect, financial performance.

1. INTRODUCCIÓN

Las iniciativas de colaboración entre los diferentes miembros de una cadena de abastecimiento (supply chain) ocupan un lugar preponderante dentro de la literatura que investiga los factores que afectan el desempeño de la cadena. Dos de las iniciativas más estudiadas son las conocidas como VMI (Vendor Managed Inventory) y CPFR (Collaborative Planning Forecasting and Replenishment). En un sistema VMI, el proveedor decide cuál es el nivel de inventario apropiado en los eslabones siguientes de la cadena y cuáles son las políticas de inventario apropiadas para mantener dichos niveles de inventario, mientras que el sistema CPFR facilita el intercambio de información entre los eslabones de la cadena en cuanto a demanda final y pronósticos de demanda, así como sobre futuras promociones de ventas y tendencias históricas (Simchi-Levi, Kaminsky & Simchi-Levi, 2003). Una de las consecuencias esperadas a través de la implantación de sistemas VMI o CPFR, es la disminución del “efecto látigo” (“bullwhip effect”) definido como el fenómeno de amplificación de la variación de las órdenes en la medida en que éstas progresan del cliente final hacia los proveedores (Lee, Padmanabhan & Whang, 1997). La constatación de esta relación causa-efecto a través de modelos de simulación ha sido objeto de trabajo por parte de varios autores. Algunos de estos autores se han limitado a estudiar la relación entre el trabajo con sistemas VMI o CPFR y la atenuación del “efecto látigo” -por ejemplo, Disney & Towill (2003) encontraron un impacto positivo del sistema VMI sobre este problema- mientras otros han estudiado adicionalmente el efecto de estos sistemas sobre los costos de inventario y el servicio final al cliente; Danese (2006) e Yuan, Shen y Ashayeri (2010) , hallaron una relación positiva entre el uso de CPFR y

el nivel de servicio (entendido como la disponibilidad de producto para todos los pedidos de los clientes), Sari (2008), observó la influencia positiva de ambos sistemas en la reducción de costos de la cadena, siendo más significativo el efecto de CPFR, Yu et al (2001, 2002) mostraron el impacto de la información compartida (una característica común a ambos sistemas) sobre la reducción de costos de inventario, mientras Carranza & Maltz (2010) estudiaron la relación entre el “efecto látigo” y el desempeño financiero de la cadena (costos de inventario y transporte) sin encontrar evidencia de esta relación. Como puede verse, es escasa la investigación que relaciona los sistemas CPFR y VMI con el “efecto látigo” y, a su vez, la relación de éste con el desempeño financiero de la cadena. Es más, la medición del desempeño financiero dentro de la literatura mencionada se limita a los costos logísticos, siendo éstos apenas una parte, no necesariamente relevante, del desempeño financiero global de la cadena. En este sentido, Bowersox, Closs & Cooper (2002) mencionan la conveniencia de medir el desempeño financiero de la cadena con indicadores que muestren la contribución de la gestión de la cadena al logro de los resultados financieros estratégicos de la organización, relacionados generalmente con la generación de flujo de caja y el manejo de los activos. Este trabajo intenta, a través de la simulación sobre un modelo de Dinámica de Sistemas que describe una estructura genérica de cadena de abastecimiento, establecer la relación existente entre la información compartida sobre la demanda final (característica típica tanto de CPFR como de VMI) y el establecimiento de políticas de inventario de la cadena por parte del proveedor (propia del sistema VMI), tanto sobre el “efecto látigo” como sobre el desempeño financiero de la cadena, medido este último a través de indicadores financieros considerados habitualmente como estratégicos: el flujo de caja y el retorno sobre activos. Simultáneamente se estudia si existe una relación entre el “efecto látigo” y el desempeño financiero de la cadena.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO

El modelo se basó en una compañía manufacturera cuyo producto se compone de dos materias primas (por ejemplo, cable eléctrico compuesto por alambre de cobre y cobertura plástica), una de ellas importada (“lead time” alto), y que tiene una red de distribución propia. La mayor parte de los modelos utilizados en la literatura sobre este tema son modelos genéricos, diseñados alrededor de una estructura simple de 3 ó 4 niveles (v. gr. Productor - mayorista- minorista – detallista) con un solo elemento por nivel, es decir,

un solo productor, un solo distribuidor, etc. El modelo diseñado para esta investigación responde a la necesidad, planteada por algunos autores (Cachon & Fisher, 2000; Sari, 2008), de diseñar modelos con más de un elemento en uno o varios de los niveles de la cadena, que se aproximen más a la realidad de estos sistemas y de los que puedan desprenderse conclusiones más relevantes desde el punto de vista de la aplicación en la práctica.

La **Figura 1** muestra la estructura general del modelo. Se consideran tan solo tres niveles básicos (materia prima-producción-distribución) pero se han incluido dos elementos en el nivel de materia prima y tres elementos en el nivel de distribución. Como puede verse se utilizan dos materias primas (*Materia Prima 1* y *Materia Prima 2*) que a través del proceso de producción se convierten en inventario de producto terminado en la fábrica (*Fábrica*) el cual se despacha a tres distribuidores (*Distribuidor 1*, *Distribuidor 2* y *Distribuidor 3*) que atienden al cliente final (*Cientes Distribuidor 1*, *Cientes Distribuidor 2* y *Cientes Distribuidor 3*). Si bien, este modelo se basa, de manera general, en características propias de una empresa del sector de producción y comercialización de cable eléctrico industrial, se ha diseñado de manera que pueda aplicarse a compañías manufactureras ubicadas en otros sectores y puedan incluirse en el mismo, a través de modificaciones leves en la estructura, un mayor número de materias primas y distribuidores.

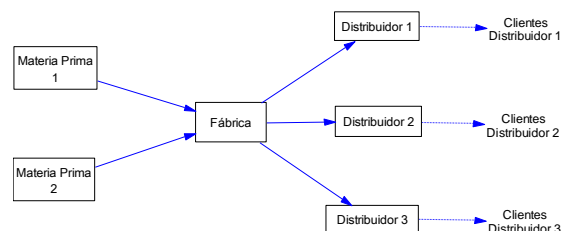


Figura 1. Estructura general del modelo

2.1. DISTRIBUCIÓN

En la **Figura 2** se muestra la sección del modelo que describe la estructura de distribución. Se tiene una bodega central de producto en la fábrica que actúa como centro de distribución para tres bodegas (se muestran en la Figura solo dos de ellas). Cada una de las bodegas (centros de distribución) está ubicada en una ciudad diferente y tiene sus propios clientes y demanda, así como un tiempo específico de transporte (lead time) desde el centro de distribución. La Bodega 1 atiende exportaciones y es atendida por la fábrica de manera prioritaria. Esta prioridad se

maneja en el modelo a través de una regla de decisión.

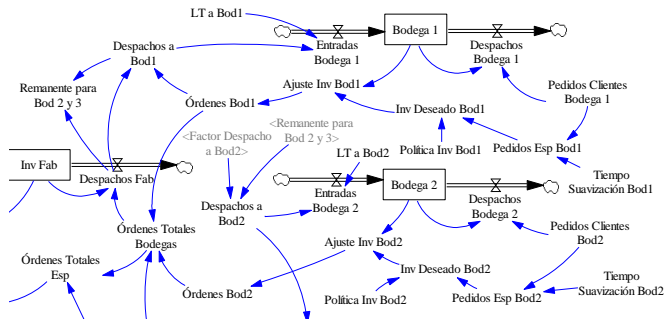


Figura 2. Sección de "Distribución" del modelo

2.2 ABASTECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

En la Figura 3 se muestra parte de la sección del modelo que describe las operaciones de abastecimiento de materias primas y producción. El producto se fabrica a partir de dos materias primas (MP1 y MP2) que se involucran en el producto en una proporción específica, siendo MP2 de suministro local y MP1 importada, lo cual implica un mayor tiempo de transporte (lead time) para MP1 y por lo tanto una mayor política de inventario

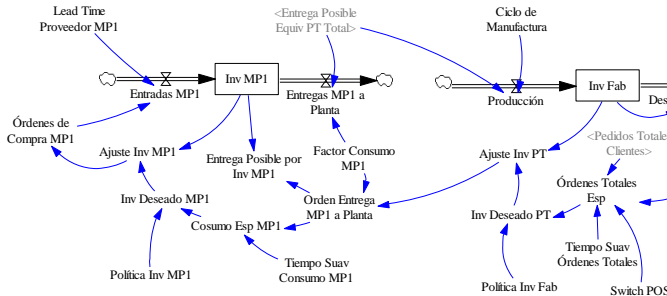


Figura 3. Parte de la sección de "Abastecimiento y Producción" del modelo

2.3 FLUJO DE EFECTIVO

En la Figura 4 se muestra la sección del modelo que describe el flujo de efectivo. Las tres bodegas venden a crédito y sus precios de venta están ligados a la política de cartera (esta política es única para todas las bodegas). Se consideran como ingresos de efectivo únicamente los ingresos operativos provenientes de los recaudos de cartera. Los egresos de efectivo están constituidos por los pagos a proveedores de materia prima, otros costos de producción, los costos logísticos y los gastos operativos fijos. El costo unitario de materia prima

depende de la política de pago a proveedores, la cual es común para ambos proveedores.

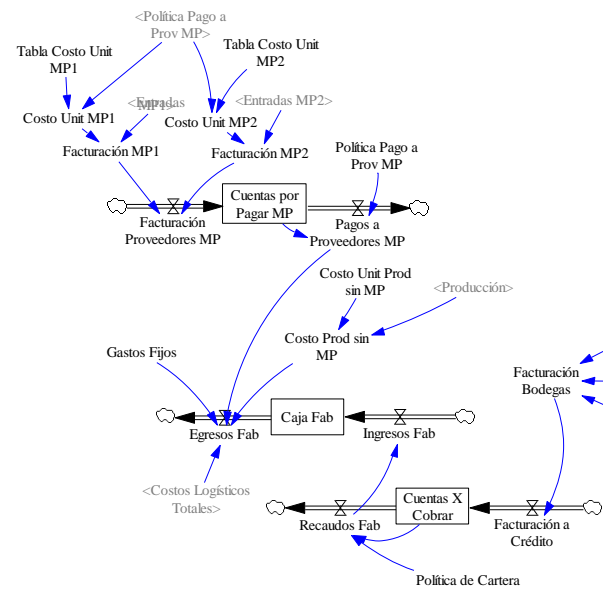


Figura 4. Sección de "Flujo de efectivo" del modelo

3. INDICADORES DE DESEMPEÑO

A continuación se describen los indicadores de desempeño de la GCA que fueron involucrados dentro del modelo de simulación. Debe anotarse aquí que los indicadores financieros fueron calculados con base en el flujo de caja en lugar de las utilidades, ya que resultaba más coherente con la unidad de tiempo utilizada para el modelo (semanas).

3.1 NIVEL DE SERVICIO

El *Nivel de Servicio Total Acumulado (NSA)*, se mide como la relación entre el acumulado de los despachos a los clientes, por parte de los tres distribuidores, y el acumulado de los pedidos efectuados por esos clientes. Es decir ¿qué fracción o porcentaje de lo pedido por los clientes se les ha despachado?

3.2 COEFICIENTE DE EFECTO LÁTIGO

El *Coficiente de Efecto Látigo (CEL)*, está definido como el cociente entre la varianza acumulada de la demanda de la fábrica (σ^2_F) y la varianza acumulada de la demanda total de los distribuidores (σ^2_D), como se muestra en la Ecuación 1 (Carranza & Maltz, 2010, 24). Este coeficiente mide la amplificación en la variación de la demanda en la medida en que esta información se mueve de los distribuidores hacia la fábrica.

$$CEL = \sigma^2_F / \sigma^2_D \quad (1)$$

3.3 INDICADORES FINANCIEROS

El *Flujo de Caja Acumulado* (FCA) de la fábrica (ver Ecuación 2) se calcula como la diferencia entre los ingresos y los egresos semanales acumulados de la fábrica, dentro del horizonte temporal de simulación (50 semanas)

$$FCA = \sum_{t=1}^{50} I_t - \sum_{t=1}^{50} E_t \quad (2)$$

donde:

FCA = Flujo de caja acumulado

t = período (semana)

I_t = ingresos en el período t

E_t = egresos en el período t

El *Retorno sobre Activos* para la fábrica se define como el cociente entre el flujo de caja promedio (FCA/50) y el capital de trabajo promedio (KTA/50) para las 50 semanas. Al calcular el cociente se elimina el número de semanas (50) y el indicador queda definido como se describe en la Ecuación 3.

$$RSA = \frac{FCA}{\sum_{t=1}^{50} KT_t} \quad (3)$$

donde:

RSA = Retorno sobre activos

FCA = Flujo de caja acumulado

KT_t = Capital de trabajo al cierre del período t, calculado como la suma del valor de inventarios, las cuentas por cobrar y el efectivo disponible

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se seleccionaron cuatro factores independientes para el diseño experimental: la existencia o no de un sistema de información hacia la fábrica sobre la demanda final (POS), la política de inventario de los distribuidores (PIB), la política de inventario de producto terminado de la fábrica (PIF), y la política de inventario de materia prima de la fábrica (PIMP).

El factor POS se refiere a la existencia o no de un sistema para compartir la información de la demanda final de los tres distribuidores con la fábrica (sistema POS) de manera que esta última elabore su pronóstico de demanda con base en la demanda final y no con la demanda agregada de los tres distribuidores. Este factor tendrá un valor de uno (1)

cuando el sistema exista y un valor por defecto de cero (0) es decir, se supone, en principio, que no se da este flujo de información; no se han considerado dentro del flujo de efectivo las inversiones y gastos relacionados con el montaje e implantación de este sistema. En el factor PIB, teniendo en cuenta que se tienen tres distribuidores, se determinaron los niveles del factor agregando o disminuyendo simultáneamente una semana de política de inventario para cada distribuidor (niveles +1 y -1). De igual manera se procedió para el factor PIMP, teniendo en cuenta que se tienen políticas de inventario diferentes para cada una de las dos materias primas.

Se utilizaron cuatro factores como variables independientes: el coeficiente de efecto látigo (CEL), el nivel de servicio total acumulado (NSA), el flujo de caja acumulado de la fábrica (FCA) y el retorno sobre activos de la cadena (RSA). Estos factores han sido explicados previamente dentro de la descripción general del modelo de simulación y representan medidas del desempeño operativo (CEL y NSA) y financiero (FCA y RSA) de la cadena.

Se utilizó un arreglo factorial completo, escogiendo tres niveles para PIB, PIF y PIM, y dos niveles (0 y 1) para POS. Estos niveles se resumen en la Tabla 1. El nivel cero (0) de los factores PIB, PIF y PIMP, corresponde a los valores establecidos por defecto en el modelo de simulación para las políticas de inventario: tres, dos y dos semanas respectivamente para los distribuidores 1, 2 y 3, dos semanas para la fábrica, y cuatro y dos semanas respectivamente para las materias primas 1 y 2. El arreglo factorial para el número de factores y niveles establecido en la tabla determina la realización de (3³)*2 experimentos, es decir 54 simulaciones.

Tabla 1. Factores independientes y sus niveles para el diseño experimental

Factores independientes	Niveles		
	1	2	3
POS	0	1	
PIB	-1	0	+1
PIF	-1	0	+1
PIM	-1	0	+1

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron las 54 simulaciones resultantes del diseño experimental factorial completo. Se utilizó un horizonte de simulación de 50 semanas y se recolectaron los valores de las variables de interés (factores dependientes) en el período 50. Se llevó a cabo un análisis MANOVA sobre estos valores

utilizando el software STATISTICA versión 9. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 2. Adicionalmente se realizaron análisis ANOVA para relación entre el coeficiente de efecto látigo (CEL) y las otras tres variables dependientes (nivel de servicio, flujo de caja y retorno sobre activos). Estos resultados se resumen en la Tabla 3.

Tabla 2. Resultados del estadístico F y el valor p para el análisis MANOVA

	CEL F	CEL p	NSA F	NSA p	FCA F	FCA p	RSA F	RSA p
POS	6.20*	0.0161	1.0584	0.3086	10.80*	0.0018	12.39*	0.0009
PIB	91.37*	8.79E-13	94.26*	5.31E-13	21.43*	0.000027	19.75*	0.00005
PIF	0.80	0.3734	103.51*	1.13E-13	65.28*	1.44E-10	79.82*	7.38E-12
PIMP	0.82	0.3678	3.58	0.0643	0.08	0.7733	0.41	0.5243

Tabla 3. Resultados de F, p y F crítico, para los análisis ANOVA realizados entre el Coeficiente de Efecto Látigo (CEL) y las otras variables dependientes.

	F	p	F crit
NSA	110,94*	3,52E-18	3,93
FCA	1,52	0,219	3,93
RSA	0,37	0,543	3,93

Como puede verse en la Tabla 2, el acceso a la información de la demanda final por parte de la fábrica (POS) tiene relación significativa con el efecto látigo (CEL) y con los indicadores financieros (FCA, RSA), pero no así con el nivel de servicio (NSA). Esto parece contradecir los resultados de trabajos previos (Danese, 2006; Yuan, Shen y Ashayeri, 2010), sin embargo, debe tenerse en cuenta que el sistema CPFIR involucra una serie de factores relevantes adicionales al acceso a la información sobre demanda final, que no han sido tenidos en cuenta en este modelo. La política de inventario de los distribuidores (PIB) tiene influencia significativa sobre todas las variables dependientes, lo cual confirma hallazgos previos acerca de la influencia del manejo de inventarios por parte del proveedor sobre el efecto látigo (Disney & Towill, 2003) y sobre los resultados financieros (Sari, 2008). La política de inventario de la fábrica (PIF) no tiene una relación significativa con el efecto látigo pero sí con las demás variables dependientes, mientras que no se encontró relación significativa de las políticas de inventario de materia prima (PIMP) con ninguna de las variables dependientes. En cuanto a las relaciones entre las variables dependientes (Tabla 3) cabe destacar que no se encontró relación significativa entre el efecto látigo (CEL) y los resultados financieros (FCA, RSA) corroborando la conclusión de Carranza & Maltz (2010), mientras que sí se presenta influencia del efecto látigo sobre el nivel de

servicio, lo que sumado al análisis previo, lleva a pensar que esta influencia podría ser más significativa cuando está medida por la disponibilidad de producto que cuando está medida por la disponibilidad de información.

6. CONCLUSIONES

Mientras resulta clara la influencia del acceso a la información sobre demanda final del cliente, y del manejo de las políticas de inventario por parte del proveedor, sobre el desempeño financiero de la cadena de abastecimiento, no resulta clara la relación entre el efecto látigo y ese mismo desempeño.

Estas conclusiones no son generalizables, pero pueden resultar útiles para cadenas de abastecimiento con características similares a las del modelo aquí descrito. Una limitación del modelo sobre la que valdría la pena trabajar, y que de hecho ha sido manejada en trabajos previos (Arenas, 2009) es el hecho de considerar la demanda como independiente del nivel de servicio.

Futuras ampliaciones de este trabajo, que resultan de interés, son el estudio empírico sobre una cadena de abastecimiento susceptible de ser modelada mediante una estructura general similar a la del modelo aquí presentado, y la profundización de la relación del efecto látigo con el nivel de servicio y el desempeño financiero de las cadenas de abastecimiento.

7. REFERENCIAS

- ARENAS, F. (2009): "Acceso al crédito y límites del crecimiento en pymes: una mirada a través de la Dinámica de Sistemas", *Sistemas y Telemática*, 7 (14), 33-45.
- BOWERSOX, D.; CLOSS, D. J. & COOPER, M. B. (2002): *Supply Chain Logistics Management*. Irwin McGraw-Hill, New York, NY.
- CACHON, G. P.; FISHER, M. (2000): "Supply chain inventory management and the value of shared information", *Management Science*, 46 (8), 1032-1048.
- CARRANZA, O.; MALTZ, A. B. (2010): "Understanding the financial consequences of the bullwhip effect in a multi-echelon supply chain", *Journal of Business Logistics*, 31 (1), 23-40.
- CLARK, A.; SCARF, H. (1960): "Optimal policies for a multi-echelon inventory problem", *Management Science*, 6 (4), 465-490.

DANESE, P. (2006): "Collaboration forms, information and communication technologies, and coordination mechanisms in CPFR", *International Journal of Production Research*, 44 (16), 3207-3226.

Dejonckheere, J.; Disney, S.M.; Lambrecht, M. & Towill, D. R. (2003): "Measuring and avoiding the bullwhip effect: A controlling theoretic approach", *European Journal of Operational Research*, 147 (3), 567-590.

DISNEY, S. M.; NAIM, M. M. & TOWILL, D. R. (1997): "Dynamic simulation modeling for lean logistics", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 27 (3/4), 174-196.

DISNEY, S. M.; TOWILL, D. R. (2003): "Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two level supply chain", *International Journal of Operations & Production Management*, 23 (6), 625-651.

HIGUCHI, T.; TROUTT, M. D. (2004): "Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product", *Computers & Operations Research*, 31, 1097-1114.

LEE, H.L.; PADMANABHAN, V. & WHANG, S. (1997): "The bullwhip effect in supply chains", *Sloan Management Review*, Spring, 93-102.

SARI, K. (2007): "Exploring the benefits of vendor managed inventory", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37 (2), 23-42.

SARI, K. (2008): "On the benefits of CPFR and VMI: A comparative simulation study", *International Journal of Production Economics*, 113, 575-586.

Simchi-Levi, P.; Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E.: *Designing and Managing the Supply Chain*, Irwin McGraw-Hill, New York, NY.

Perspectiva de gestión de tecnología en redes logísticas

Management Perspective of technology in logistics networks

Milton M. Herrera Ramírez, Ing. MSc. (c)
Corporación Universitaria Minuto de Dios IEVD
ingmiltonmauricio@gmail.com, mherrera@uniminuto.edu.

Mauricio Becerra Fernández, Ing. MSc. (c)
Universidad Católica de Colombia
mauriciobecerrafernandez@gmail.com

Resumen: El siguiente artículo trata sobre una perspectiva que se caracteriza por un comportamiento no lineal del sistema de tecnología en las redes logísticas, es decir, la adquisición, reconstrucción o reconversión de tecnología en cualquiera de los nodos que pertenecen al canal logístico. Utilizando un enfoque basado en la Dinámica de Sistemas se propone una forma para comprender y analizar la dinámica de tecnología en una red logística vinculada y así desarrollar los aspectos para el diagnóstico de tecnología de una forma sistémica.

Palabras Clave: redes logísticas, Dinámica de Sistemas, gestión de tecnología, dinámica de tecnología.

Abstract: The following article is about a perspective that is characterized by a nonlinear system technology in logistics networks, the acquisition, reconstruction or conversion of technology in any of the nodes that belong to the logistics channel. Using an approach based on system dynamics is proposed a way to understand and analyze the dynamics of technology and related logistics network and develop aspects of technology for the diagnosis of a systemic way.

Key words: logistics networks, system dynamics, technology management, dynamics of technology.

1. INTRODUCCIÓN

El canal logístico se caracteriza por encontrarse relacionado entre sí por una serie de nodos que

conforman lo que podemos denominar red vinculada o red logística vinculada, debido a que existen una serie de proveedores, clientes y fabricantes vinculados de una forma sistémica que los relaciona y caracteriza. Este sistema logístico está fundamentado en varios factores que son el motor del mismo, entre ellos la tecnología. La inserción, reconstrucción, reconversión y mantenimiento preventivo generan una dinámica no lineal en la gestión tecnológica de la red logística.

El artículo desarrolla una perspectiva dinámica que muestra la interacción de varios elementos en el sistema logístico, a partir de las variaciones tecnológicas y otros elementos que interactúan.

2. VARIABLES TECNOLÓGICAS

Las organizaciones se encuentran abocadas a sufrir un efecto de obsolescencia tecnológica, fenómeno que afecta la productividad y competitividad.

Las causas de la obsolescencia están enmarcadas en comportamientos dinámicos, sin embargo estos comportamientos pueden ser analizados con el propósito de determinar la vida útil o económica de la tecnología y generar procesos que ahonden en el mejoramiento de la gestión de tecnología en las organizaciones.

El modelo no lineal propuesto por [1] se refiere al análisis de los modelos de reemplazo de tecnología. Estos modelos de reemplazo se caracterizan por tener en cuenta las tasas de aumento de los costos de mantenimiento y operación, también se tiene en

cuenta el costo generado por la inversión de la adquisición de tecnología.

A medida que transcurren los años, el crecimiento de la tecnología tiene una mayor trascendencia, lo que ha generado en el mercado un efecto de obsolescencia tecnológica. Las tecnologías que en un principio son catalogadas como avanzadas se convierten rápidamente en primitivas, o lo que es peor, en anticuadas [2]. Después de un tiempo la tecnología adquiere una característica de obsolescencia debido al efecto que se da cuando existe una comparación de rendimiento; ya que existe una dualidad entre la tecnología competidora que transforma a su dual en tecnología perdedora generando un efecto de abandono por parte de los usuarios.

Las variables que se pueden distinguir a nivel tecnológico son:

- ✓ Vida Tecnológica
- ✓ Desgaste Físico
- ✓ Innovación
- ✓ Flujo Financiero
- ✓ Factor Humano
- ✓ Funcional

Si bien otros autores como [2], [3] y [4], entre otros, definen otras variables que afectan la productividad y competitividad desde un enfoque de modelos de reemplazo y gestión de tecnología, se pretende mostrar de forma sistémica el comportamiento de la red logística y no de un nodo en particular como se plantea desde otros modelos matemáticos o financieros como lo afirma [4].

3. MODELO CAUSAL PROPUESTO

La dinámica del fenómeno de obsolescencia, el cual se analiza desde el enfoque del comportamiento del mercado donde se mezclan las variables: consumidor, productor y el precio. Las tendencias de consumo incentivan el proceso de creatividad, el cual conlleva al productor a realizar innovaciones de tecnología, por tanto la decisión de inversión de capital con finalidades de reemplazo se hace inminente. Sin embargo, la innovación no solo se puede analizar desde el punto de los avances tecnológicos, ya que ésta no responde a la supervivencia de la compañía; el valor de la innovación radica en observar a futuro la dinámica del mercado y adelantarse estratégicamente para ofrecer bienes y servicios de alta calidad [2]. La Inversión en tecnología se encuentra motivada, no solo por las innovaciones

tecnológicas, sino por el comportamiento de los costos de mantenimiento y operación que llevan a los productores a tomar decisiones de reemplazo. En este sentido existen varios modelos que ayudan en el proceso de toma de decisiones para reemplazar equipos [4].

La dinámica de precios de los productos en el mercado muestran las tendencias de consumo de los consumidores o clientes del sistema (Figura 1). Las compañías compiten a través de diferentes estrategias y una de ellas es el precio de la tecnología en el mercado. Cuando la tecnología está en el primer estadio de desarrollo el precio al cual es valorada aumenta, pero si esta tecnología se encuentra en un estadio con mayor evolución y permanencia el precio decrece sustancialmente.

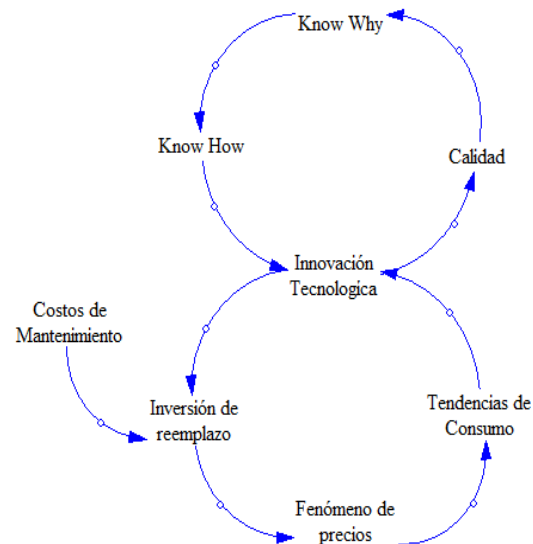


Figura 1. Dinámica del fenómeno de obsolescencia.
Fuente: Elaboración Propia.

Por otra parte, las innovaciones tecnológicas desembocan en un mejoramiento continuo y competitividad, con ello se propicia la calidad, tanto de la tecnología como la del producto. En un mundo globalizado donde las fronteras se tornan invisibles y los retos tecnológicos juegan un papel preponderante, la calidad a los ojos del consumidor final toma gran importancia [5].

3.1. GESTIÓN DE TECNOLOGÍA EN LA RED LOGÍSTICA

La gestión de tecnología se basa en el desarrollo de la capacidad de una compañía en los vectores del

conocimiento y la información para realizar productos o servicios [2]. Por otra parte, el término de gestión de tecnología ha sufrido de una evolución paulatina que lo enmarca en la administración del conocimiento con el propósito de mejorar la productividad por medio de la creatividad e innovación de los procesos o productos ofrecidos. Por ende, la innovación en los procesos propicia la selección de tecnología apropiada en la cual confluyen las metas organizacionales y operacionales [6].

Para ilustrar la inserción de tecnología en la red logística o el proceso de gestión tecnológica que se puede dar como un efecto látigo implica que la introducción en cualquier nodo que integre la red logística afectará indudablemente el proceso de administración de la demanda de los nodos no intervenidos en el proceso.

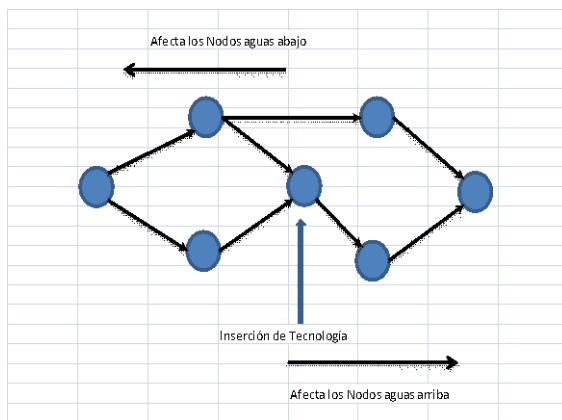


Figura 1. Efecto Látigo de la gestión tecnológica en la red logística.

El canal logístico se caracteriza por encontrarse relacionado entre sí por una serie de nodos que conforman lo que podemos denominar red vinculada o red logística vinculada, debido a que existe una serie de proveedores, clientes y fabricantes vinculados de una forma sistémica que los relaciona y caracteriza. Este sistema logístico está fundamentado en varios factores que son el motor del mismo, entre ellos la tecnología. La inserción, reconstrucción, reconversión y mantenimiento preventivo generan una dinámica no lineal en la gestión tecnológica de la red logística.

Si bien la dinámica de la red logística tiene causas externas e internas que se relacionan entre sí por naturaleza, también se identifica porque cada uno de los elementos (llámense compañías) que conforman

la red (vinculadas) presentan características propias que lo identifican como un subsistema del sistema logístico. Los fractales que conforman la red logística tienen nodos que se caracterizan por tener diferentes grados de tecnología. Según, [2] las compañías con respecto al manejo de tecnología y administrativo de la tecnología se pueden encontrar en cualquiera de las tres generaciones propuestas por él. De acuerdo a esto, podemos identificar que dentro de la red vinculada del canal logístico existe una variedad compleja de tecnologías y que las compañías inmersas se pueden encontrar en cualquier punto generacional propuesto por [2].

4. MODELO DE SIMULACIÓN DEL EFECTO DE TECNOLOGÍA

El modelo que se plantea en el presente artículo muestra tres fases de análisis que confluyen en los resultados que evidencian la tendencia del fenómeno de tecnología a nivel de una red logística vinculada. Las tres fases que se presentan son las siguientes:

- Fase de dinámica del mercado tecnológico.
- Fase de desarrollo y reconversión de la red vinculada.
- Fase de beneficio económico de desarrollo.

Cada una de las fases muestra el comportamiento que puede llegar a darse con el cambio tecnológico teniendo en cuenta las políticas de mantenimiento, planeación y desarrollo tecnológico “oculto” (reconversiones sobre equipos).

A continuación se desarrolla cada una de las fases y se presenta el modelo desarrollado.

4.1. FASE DINÁMICA DEL MERCADO TECNOLÓGICO

La planeación de tecnología como una actividad de la gestión de tecnología se plantea como una necesidad frente a la dinámica del mercado. La planeación de la tecnología implica la inversión de capital como estrategia que fortalezca la compañía de forma razonable y justa en el sentido de la necesidad o tendencias del mercado de tecnología. El siguiente modelo planteado muestra la primera estructura del modelo general.

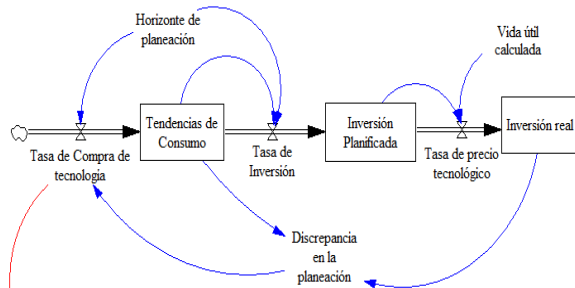


Figura 2. Fase de dinámica del mercado tecnológico.

Esta fase muestra el comportamiento de la tendencia de consumo, la inversión planificada y la inversión real como se puede ver en la figura 2. Existe en este comportamiento una condición de discrepancia en la planeación, entre la tendencia de consumo y la inversión real que realizan las compañías de la red logística. En esta fase se incluyen aspectos tales como la vida útil calculada que no siempre concuerda con la real; sin embargo, en el presente modelo se plantea como una constante calculada por medios contables o herramientas matemáticas de investigación de operaciones.

4.2. FASE DE DESARROLLO Y RECONVERSIÓN DE LA RED VINCULADA.

El desarrollo y reconversión de tecnología propuesto como estrategia de competitividad [8] hace que las empresas vinculadas le den un mejor uso a los equipos o tecnologías que poseen. La siguiente fase del modelo se presenta en la figura 3 en donde se ve reflejada una idea fundamental basada en la reconversión de tecnología como una variable tecnológica de innovación que puede tomar un potencial económico interesante en el entorno cambiante en el que nos encontramos.

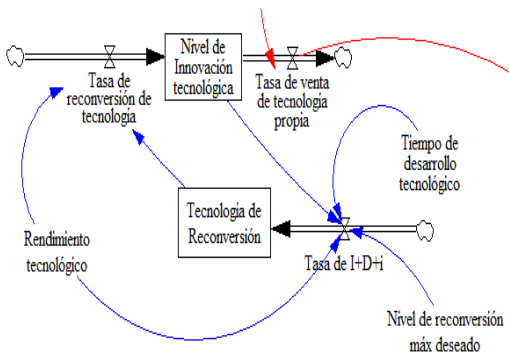


Figura 3. Fase de desarrollo y reconversión de la red vinculada.

Uno de los aspectos relevantes medidos en esta fase tiene que ver con el tiempo de desarrollo tecnológico, que aunque la variabilidad del parámetro es en la realidad un elemento determinante y variante en el tiempo si es de gran importancia en la formulación de un modelo de este tipo. La función planteada para la tasa de $I+D+i$ es la siguiente:

$$\frac{(\text{Nivel de reconversión máx deseado} - \text{Nivel de Innovación tecnológica})}{(\text{Rendimiento tecnológico} * \text{Tiempo de desarrollo tecnológico})}$$

Donde se aprecia la interacción que se produce entre el rendimiento tecnológico y el tiempo de desarrollo tecnológico. En un comportamiento real se puede apreciar que entre mayor rendimiento tenga una tecnología determinada será directamente proporcional a su tiempo de desarrollo, como se muestra en la fórmula planteada.

4.3. FASE DE BENEFICIO ECONÓMICO DE DESARROLLO.

Aunque en esta fase se presenta una percepción simple de un modelo más complejo de desarrollo económico mediante los procesos investigativos, si se contempla de una forma simple el efecto que se tiene al proponer una estrategia en el sentido del aprovechamiento tecnológico y los desarrollos propios que se puedan dar en el seno de las organizaciones. La fase de beneficio económico planteada por medio de esta estrategia se puede observar en la figura 4 en donde se resalta la variable de estado que resalta el Know- How y Know Why como actores en el beneficio económico de desarrollo, más allá de los beneficios económicos en términos monetarios como tal. En lo planteado por [2] el Know How hace referencia al conocimiento como tal que es un valor intangible de las organizaciones, sin embargo este concepto va muy de la mano al Know Why, término poco utilizado pero de gran relevancia en el proceder de las compañías. Éste hace referencia a la capacidad de aprendizaje que tienen las organizaciones sobre todo en la dinámica de cambios tecnológicos que se dan cada día.

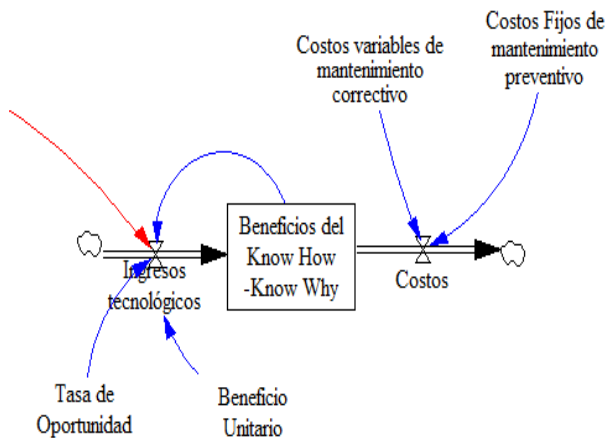


Figura 4. Fase de beneficio económico de desarrollo.

Cada una de estas fases se integró para realizar el respectivo análisis en la actividad dinámica que presenta la tecnología hoy en día.

4.4. MODELO INTEGRADO DEL EFECTO DE TECNOLOGÍA.

A continuación se presenta la integración del modelo por medio de tres variables que lo conectan y hacen la relación sistémica que presenta la dinámica tecnológica de las organizaciones vinculadas o redes vinculadas. En la figura 5 la integración del modelo entre la fase de dinámica de mercado tecnológico y la fase de desarrollo y reconversión de la red vinculada se realiza por medio de las variables tasa de compra de tecnología y tasa de venta de tecnología propia. Por otra parte, para realizar la integración entre la fase de desarrollo y reconversión de la red vinculada y la fase de beneficio económico de desarrollo se utilizaron las variables de ingresos de tecnología y la tasa de venta de tecnología propia que la alimenta.

Este tipo de integración se presenta en conexiones de color rojo que la diferencian.

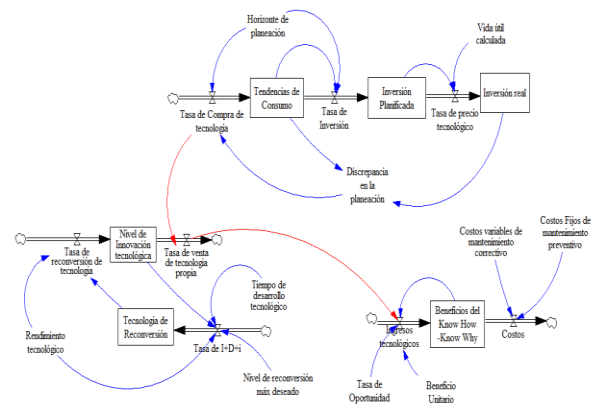


Figura 5. Fase de beneficio económico de desarrollo.

La integración de las tres fases permite conocer el comportamiento en estas tres perspectivas, sin embargo, se pueden tener presentes otras variables tales como los aspectos políticos en cuanto a desarrollo y tecnología, entre otros.

5. RESULTADOS

En medio de la dinámica de tecnología se puede concluir, según los resultados presentados de la simulación, lo siguiente:

El nivel de innovación de tecnología tiene un comportamiento similar con los beneficios que se generan por el aprovechamiento del Know- How y Know-Why. Este comportamiento se grafica en la figura 6 y 7.

Un fenómeno común en las organizaciones y que se presenta por medio de este modelo propuesto es la reducción de inversión, hace que la innovación tecnológica en una compañía se reduzca como se puede observar en la figura 6 y 8.

Aunque se pueden simular otros escenarios que muestren los diferentes comportamientos de los efectos tecnológicos, sí se debe tener en cuenta que a medida que se avanza en el tema de la interacción de la tecnología en las organizaciones, el ser humano y el medio ambiente, se podrán mejorar los resultados de análisis ante diversos estados que se presenten.

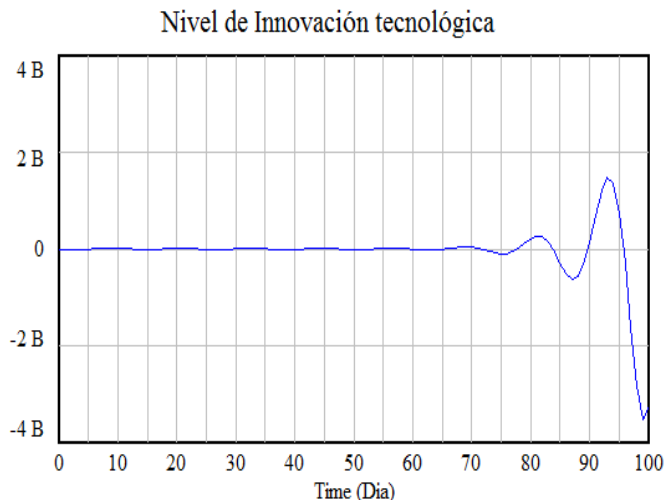


Figura 6. Comportamiento del nivel de innovación tecnológica.

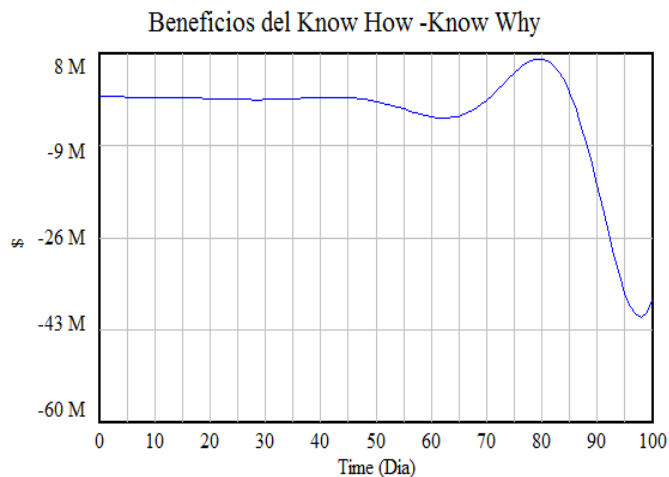


Figura 7. Comportamiento de beneficio del conocimiento y capacidad de aprendizaje.

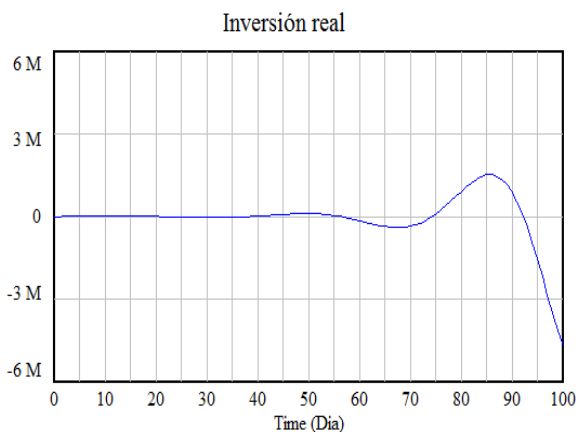


Figura 8. Comportamiento de la Inversión real.

6. CONCLUSIONES

Por otra parte, se han desarrollado en otras áreas con un mayor nivel de maduración modelos de reemplazo de tecnología que tienen como propósito fundamental la gestión de tecnología desde la perspectiva operacional. Los modelos de reemplazo se definen en tres grandes grupos: aquellos que utilizan el parámetro de contraste o comparación nuevo-viejo, los modelos de optimización, clásicamente difundidos y utilizados y finalmente los modelos límite [4]. En todos los modelos planteados que se conciben con esta perspectiva operacional o financiera (tal es el caso de los modelos de evaluación económica de valor presente neto incremental o tasa interna de retorno incremental) plantean el problema de una forma fraccionada, es decir, la inversión en activos fijos para la red logística se ha planteado de una forma individual o para cada elemento con una perspectiva fractal.

Las variables y comportamientos que se presentan en diferentes modelos de planeación tecnológica no se presentan como una relación sistémica de fases como el anterior resultado de investigación, sino que se presenta en otros contextos matemáticos o cualitativos.

Se puede ratificar que la falta de inversión en tecnología e innovación en los procesos es necesaria y que una de las estrategias puede llegar a ser la reconversión e investigación desde esa perspectiva tecnológica.

En conclusión, el efecto tecnológico en los nodos afecta la red logística. Si en cada etapa de una cadena de suministro, nodos de la red logística, su objetivo local es la optimización, se debe considerar el impacto en toda la red [7].

7. REFERENCIAS

- [1] SHAMBLIM, J. E. and G. T. Stevens, *Investigación de operaciones: Un enfoque fundamental*. 1974, Bogotá D. C.: Mc Graw Hill. 422.
- [2] CASTELLANOS DOMÍNGUEZ, O. F. (2007). *Gestión Tecnológica: De un enfoque tradicional a la inteligencia*. Bogotá.
- [3] GÓMEZ SAAVEDRA, E., *El control total de la calidad*. RAM Editores Cia. LTDA ed. 1996, Bogotá D.C. 359.

[4] VIVEROS FOLLECO, A., G. González V., et al. (2004). "Aproximación al reemplazo de equipo industrial." Revista Scientia et Technical Volumen 25: 6

[5] HERRERA RAMÍREZ, M. M., (2010) "La obsolescencia una oportunidad o amenaza". Revista de Ingeniería Universidad de los Andes. En proceso de revisión.

[6] CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J. et al. (2000). Administración de producción y operaciones: manufactura y servicios.

[7] CHOPRA, S. and P. MEINDL (2008). Administración de la cadena de suministro: Estrategia, planeación y operación. México D.F., Pearson Prentice Hall.

[8] BONILLA ISAZA, R.D. (2008) Sustitución y reconversión de maquinaria en la PYME: Alternativas de desarrollo. IBERGECYT. Cuba

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Distrital, Universidad Católica de Colombia y la Corporación Universitaria Minuto de Dios por haber brindado los espacios para la realización del presente artículo.

8. CURRÍCULUM

Milton M. Herrera Ramírez. Ingeniero de Producción, candidato a Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente Investigador de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, coordinador de Tecnología Logística del Instituto de Educación Virtual y a Distancia. Director del Grupo de Investigación Modelos de Tecnología Logística MTL.

Mauricio Becerra Fernández. Ingeniero de Producción, candidato a Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente de Ingeniería Industrial Universidad Católica de Colombia y Universidad Piloto de Colombia. Investigador en áreas de producción, logística e investigación de operaciones.

ECONOMÍA Y SOCIEDAD

Metodologías de análisis para modelos de desarrollo rural

Analysis methodologies for rural development models

Fernando Ceballos, MSc., Isaac Dyer R., PhD y Santiago Arango A., PhD
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
fceball@unal.edu.co, idyner@yahoo.com, saarangoa@unalmed.edu.co

Resumen: en el ámbito social, la necesidad de tener claridad y unicidad respecto a cómo se debe analizar un problema social con miras al desarrollo sostenible, ha tenido diferentes apreciaciones. En diversas entidades gubernamentales se mide el alcance de objetivos de políticas públicas mediante el estudio inmediato de las mejoras de infraestructura, análisis económicos y percepción de los habitantes de la zona en cuestión. No obstante, es necesario tener una metodología base que tenga en cuenta las características particulares de cada una de las zonas, las necesidades económicas de los habitantes y cómo ésta logra en gran medida alcanzar la satisfacción de necesidades de autorrealización de los mismos. Este documento tiene por objeto mostrar la falta de análisis holístico que involucra a la zona en la que la tecnología energética debe ser aplicada y propone un acercamiento metodológico a la manera como deben analizarse dichos problemas, de tal forma que se puedan simular las decisiones a través del tiempo mediante una herramienta integradora como la Dinámica de Sistemas, con el fin de unificar los conceptos de desarrollo y energía en un modelo aplicable a la realidad.

Palabras Clave: Dinámica de Sistemas, desarrollo, energía, necesidades, Maslow.

Abstract: in the social sphere, the need for clarity and unity about how to analyze a social problem in sustainable development has had different findings. In various government agencies, measured the extent of public policy objectives through the immediate study of the infrastructure improvements, economic analysis and perception of the inhabitants of the area concerned. However, it is necessary to have a basic methodology that takes into account the particular characteristics of each of the zones, the economic needs of the people and how it manages to largely meet the needs of self-satisfaction from them. This

document is intended to show the lack of holistic analysis that involves the area where energy technology must be applied and proposes a methodological approach to the way in which these problems should be analyzed, so that decisions can be simulated over time using a tool integrated as system dynamics, in order to unify the concepts of energy development and a model applicable to reality.

Key words: system dynamics, development, energy, social needs, Maslow.

1. INTRODUCCIÓN

En muchos países del mundo existen problemas de inequidad al momento de la distribución de riquezas. Las personas encargadas de una distribución equitativa no tienen una técnica única para hacerlo, y por lo tanto, se genera desigualdad. Además, las personas de las diferentes comunidades siempre están motivadas por un afán avaro, lo que hace que las decisiones siempre tengan un sesgo por la satisfacción de las necesidades básicas, y posteriormente otras relacionadas directamente con la autorrealización como ente social.

Por lo tanto, el desarrollo en el ámbito económico y social es un tema que está lejos de estar definido claramente. Algunos teóricos (Helpman, 2004; Landau 1991) han concluido que es muy difícil la medición del “desarrollo”, lo cual justifica y agrava la forma en la cual se debe afrontar el problema de su medición y cuantificación. Es necesario tener en cuenta que dependiendo del grupo social y las condiciones naturales, es diferente el concepto de desarrollo; lo cual nos deja sin herramientas de juicio –o con aquellas meramente especulativas- para evaluar el impacto que tiene una tecnología energética en una comunidad y región.

2. ENERGÍA Y DESARROLLO: UNA APROXIMACIÓN DESDE LOS MODELOS DE SATISFACCIÓN DE NECESIDADES DE MASLOW Y EL PARADIGMA DE LAS LIBERTADES DE SEN

Entre los distintos significados y usos del término modelo de desarrollo se destaca la referencia al prototipo o punto de referencia para su imitación o reproducción. En este sentido, un modelo es una estructura que se debe seguir por su perfección. Un modelo también es el esquema teórico de un sistema o de una realidad compleja. Por otra parte, el desarrollo consiste en acrecentar o dar incremento a algo de orden físico, intelectual o moral. Si el concepto de desarrollo se aplica a una realidad humana, se refiere al progreso económico, social, cultural o político.

Las necesidades de las comunidades son las prioridades a resolver para generar equidad. De acuerdo con el Nobel de Economía Amartya Sen, en su libro *Desarrollo y Libertad* (Sen, 1999), la libertad es la situación social que impulsa la aparición del desarrollo, ya que la mayoría de las acciones que realizan las personas, en búsqueda de un nivel de bienestar sostenido, son motivadas por la satisfacción de las necesidades, e inicialmente con las necesidades orientadas a seguridad y supervivencia. Maslow (Fig. 1) propone que es necesario cumplir con las necesidades en un orden de importancia dada por la importancia de la misma. Sin embargo, las personas deciden cuál es el orden en la cual las deben suplir, lo cual Sen define como la posibilidad de tener la libertad de seleccionar una opción sobre otra, porque se cuenta con la disponibilidad necesaria, desde el punto de recursos disponibles y libre albedrío (Sen, 1999).



Figura 1. Pirámide de necesidades- Maslow 1943

Lo cual conlleva a cualquier proceso de decisión a identificar claramente qué posibilidades tienen las personas, dadas sus condiciones económicas, nivel

educativo y la disponibilidad de recursos en el entorno.

En el mundo, diversos estudios han apuntado que el desarrollo económico está ligado al desarrollo de la energía (Painuly & Fennhann 2002), lo cual relaciona estrechamente el mejoramiento de las condiciones económicas de una región o una comunidad a una mayor generación y posterior consumo de energía, aplicando procesos de transformación que generen valor. Estos estudios también evidencian que la demanda energética mundial puede aumentar dramáticamente y gran parte de este incremento se dará en los países en vía de desarrollo (Painuly & Fennhann 2002).

Sin embargo, son también conocidos los impactos negativos de la generación y consumo de energía. La mayor parte de la energía proviene de combustibles fósiles, con problemas asociados directamente con el medio ambiente y el proceso que se les dará a los residuos resultantes de la generación energética. Esta es una de las razones que justifica el empleo de tecnologías limpias para la producción de energía, para contribuir simultáneamente a las necesidades de las comunidades rurales y también minimizando el impacto que esta producción hace al medio ambiente. En este documento se acepta la idea que propone Sen, ya que se ajusta a muchas situaciones problemáticas, siendo esta independiente de la situación política del entorno, dada la motivación personal de cambio de los individuos.

3. HIPÓTESIS DINÁMICA

La problemática comienza al momento de realizar una intervención en una comunidad o región aislada. Esta inversión en electricidad aumenta el acceso inmediato de la misma, generando la necesidad de entrenar a las personas que van a ser usuarios directos y beneficiarios de la energía, en diferentes procesos de mejores manejos y mantenimiento. Si esta necesidad de entrenamiento no se satisface, la sostenibilidad se ve comprometida, ya que la inversión inicial no será sostenida a lo largo del tiempo. Sin embargo, si esta sostenibilidad de la tecnología se logra, la disponibilidad de la energía se incrementará hasta un nivel cercano al nominal, pero limitado por su capacidad.

La disponibilidad energética permite que las personas de las comunidades involucradas satisfagan sus necesidades básicas insatisfechas, generando una dependencia de la energía. Si estas necesidades son satisfechas completamente (alimentación, seguridad, iluminación entre otras), las necesidades se trasladan a un nivel superior, generando nuevas necesidades asociadas a la autorrealización de las personas como

entes sociales. Estas necesidades están en un nivel menor de importancia para las personas de una comunidad, pero son absolutamente necesarias para lograr la consolidación de la misma.

En el diagrama causal se presenta un ciclo de refuerzo, que tiene como variable principal el desarrollo humano y social, el cual afecta positivamente el crecimiento económico y mejora el nivel técnico de los habitantes. Esto es porque cuando hay desarrollo social y humano incrementan las posibilidades de acceso a medios de producción y la cobertura en salud y educación de los habitantes de la zona, además de posibilitar la decisión libre de crecer económicamente y tecnológicamente por el acceso a nuevos medios de producción y las necesidades de autorrealización de las personas de la comunidad, generando a largo plazo un crecimiento económico. Este crecimiento disminuye las necesidades locales, dada la forma en la cual se utiliza la tecnología, en búsqueda de nuevos y mejores usos a la misma, pero se incrementa al momento de emplear esta tecnología para cubrir las necesidades de comunidades aledañas. La inversión social como variable exógena es la potenciadora en esta dinámica, ya que permite el entrenamiento en el uso racional de la energía, y por lo tanto, el desarrollo social y humano potenciado por este medio. La inversión social incrementa el desarrollo económico, dada la creación de infraestructura para la satisfacción de diversas necesidades.

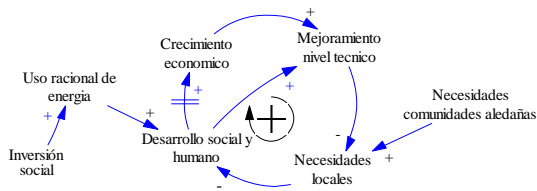


Figura 2. Diagrama causal

Estas necesidades de autorrealización satisfechas demandan un mejor proceso de entrenamiento, logrando que la tecnología se explote lo mejor posible. (Ver Figura 2).

Esta hipótesis justifica el planteamiento de políticas orientadas a la satisfacción de necesidades, pero que a largo plazo conllevan a la autorrealización de la comunidad como una organización, y por lo tanto a un mejoramiento de la calidad de vida.

4. DIAGRAMA DE FLUJOS Y NIVELES

Los conocimientos asociados a la satisfacción de necesidades de autorrealización y sostenibilidad de la energía se acumulan hasta un nivel nominal, el cual

puede ser alterado por la aparición de innovación en procesos, lo cual será contemplado en modelos posteriores. Sin embargo, dentro de un comportamiento normal del modelo, existe un límite de crecimiento, dado que la tecnología no puede utilizarse más allá de un nivel nominal. No obstante, los conocimientos se incrementan por las necesidades de autorrealización al tener cumplidas sus necesidades básicas insatisfechas. Este modelo es una aproximación a la forma como se deben analizar estos tipos de problemas, pero es necesario ir más allá en la forma de realizar una medición del impacto de la energía en la comunidad, además de suponer un comportamiento racional de los individuos que componen las comunidades. (Véase Figura 3).

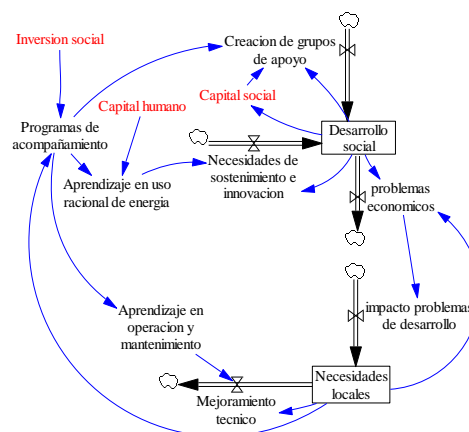


Figura 3. Diagrama de flujos y niveles

4. RESULTADOS PARCIALES OBTENIDOS

Como resultados de la simulación (Figuras 4 y 5), se evidencia la necesidad de coordinar programas de acompañamiento orientados a posibilitar las opciones de decisión que tienen las personas en un grupo humano, ya que la creación de los mismos permite que haya un flujo de información, generando nuevas capacidades y conocimientos; además de la libertad de decidir por las alternativas de empleo de la energía más convenientes, haciendo posible el desarrollo sostenible en tales regiones.

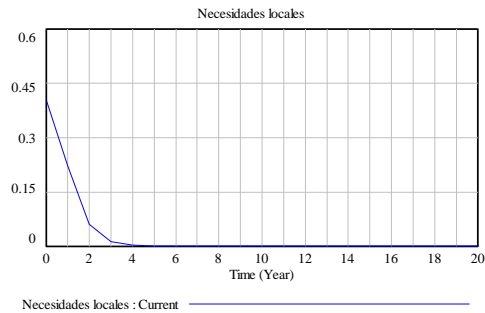


Figura 4. Necesidades locales

Estas decisiones y aprendizaje posibilitado por tales grupos hacen que la comunidad crezca en el tiempo, porque el conocimiento comenzará a hacer parte del capital humano disponible. La creación de grupos de apoyo se hace presente al inicio de la simulación, pero conforme avanza el tiempo, dadas las capacidades propias de la comunidad, se convierten estos grupos en conocimiento colectivo, permitiendo fácilmente el mantenimiento y operación de la tecnología energética, lo cual disminuye la necesidad de la realización continua de programas de acompañamiento.

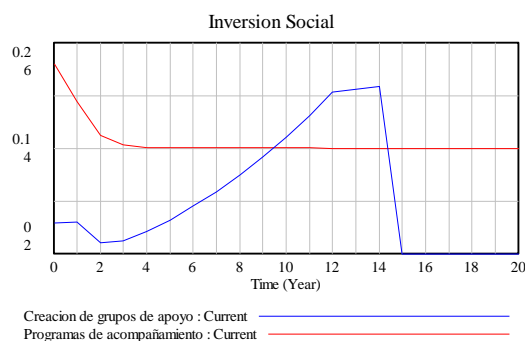


Figura 5. Inversión social

5. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

Existe un interés creciente en el modelamiento de problemas energéticos orientados al desarrollo, particularmente para áreas rurales (Smith and Mesa, 1996; Georgopoulou et al, 2003). Este interés ha generado diversidad de estudios, en cuanto en qué forma la energía posibilita –si es motor, causa o resultado– del desarrollo económico, social y humano de una región en particular. Una de las principales dificultades de estas aproximaciones es la naturaleza de gran escala indiscriminada de sus aplicaciones. Sus limitaciones incluyen la falla para involucrar la población objetivo en los procesos de decisiones, consideración de aspectos de sostenibilidad y evaluar si la solución seleccionada puede ser replicada (Roseland, 2000). Lo anterior conlleva a la necesidad

de implementar y generalizar (en lo posible) una estructura de modelación, es decir, una construcción de una metodología para unificar la estructura de modelado de problemas de desarrollo en aras de evidenciar y justificar los estudios aislados que se han realizado en el área. Las fallas en las zonas no interconectadas rurales han sido atribuidas a que la selección de la tecnología ha sido realizada basada en consideraciones puramente políticas y financieras, o alternativamente, en consideraciones exclusivamente ambientales (Roseland, 2000). Hasta ahora, referencias a un marco más amplio de desarrollo sostenible ha sido insuficiente y cortoplacista, cuando se promueven nuevas soluciones de energía y tecnología. Como resultado, las soluciones logradas con estas herramientas tienden a no ser sostenibles y por lo tanto juegan un papel pequeño en la reducción de pobreza (Cherni et al., 2007). Estas limitaciones muestran la necesidad de una aproximación para regiones de tamaño medio, y más aún, una aproximación que tenga en cuenta diferentes fuentes de energización.

Existe una amplia literatura que hace énfasis en aspectos socio-económicos y ambientales (Hobbs and Horn, 1997), sin embargo, hay muy poca atención en modelamiento regional incorporando la dimensión de desarrollo sostenible (Karekezi et al, 2002).

Para lograr una integración metodológica, hay que tener en cuenta que los actores del problema de la problemática son personas que normalmente tienen diferentes intereses, lo cual conlleva a una necesidad de construir un marco metodológico que: respete la particularidad de cada uno de los agentes y permita integrar estos comportamientos particulares en un modelamiento general, aplicable a cualquier comunidad rural que se encuentre en las condiciones descritas anteriormente.

La necesidad de emplear ambas metodologías radica en las ventajas que posee cada una de ellas, ya que los modelos de agentes se desarrollan a un nivel de agregación bajo y pueden evaluar actuaciones de individuos, mediante la interpretación de sus comportamientos, validando o refutando las hipótesis generadas de la interpretación de problemas y la percepción del modelador, como es en el caso de la Dinámica de Sistemas.

A tal fin se hace necesario identificar las necesidades que pretende cubrir esta metodología:

Modelamiento de incertidumbres de nuevas tecnologías: por medio de la construcción de escenarios, en los cuales se comparen situaciones similares, pero con variaciones en cuanto la forma en la cual hay interacción entre los agentes, se buscará enfrentar la incertidumbre y tener en cuenta el impacto de cambios inesperados de la sostenibilidad

de una tecnología específica seleccionada (McIntyre & Pradhan 2003; Davis et al. 2007).

Simulación de tendencias futuras de alternativas tecnológicas: se modelará y evaluará la relevancia de la selección tecnológica por 20 años a futuro en ambos modelos de simulación. Esto permitirá la evaluación de la sostenibilidad del sistema energético bajo un número de posibles futuros algo extremos, y permitirá una evaluación más amplia de largo plazo de sostenibilidad de cierta tecnología, con un cuidado formal de los factores independientes e interdependientes que necesariamente cambiarán en el tiempo (como el crecimiento poblacional, actividad económica y cambio ambiental) y por lo tanto alteran la demanda futura de energía en las áreas de estudio con proyección a 20 años (Rahmandad et al. 2007).

Identificación también de factores dependientes que posiblemente cambien en el tiempo con respecto a la tecnología seleccionada. La simulación es necesaria porque la dinámica que emerge de un número de comunidades interactuando en varios niveles (como en el nivel económico, financiero, social) dentro de un territorio regional, son condiciones únicas y tienen diversos impactos en el ambiente, lo que podría no necesariamente suceder al nivel de comunidades individuales. La evaluación de la dinámica de un sistema regional involucrado es usualmente no considerada por otras aproximaciones de análisis y herramientas. Las interacciones servirán como entrada para el sistema de apoyo en la toma de decisiones propuesto (Rahmandad et al. 2007).

Por lo tanto, dadas las fortalezas que propone cada una de las herramientas antes descritas, se debe realizar una integración de metodologías de modelado, para permitir la comparación de hipótesis y una correcta aplicación de técnicas de modelamiento a modelos sociales, en particular el referente a energización rural.

Además, en la situación de las comunidades rurales, diversos agentes pueden tener necesidades particulares, diferentes de las de los demás individuos, generando comportamientos altamente impredecibles. Además, la conceptualización de las comunidades como un grupo humano permite ver, mediante la Dinámica de Sistemas, cómo las comunidades se comportan y superan los conflictos individuales generados por la multiplicidad de intereses.

En general, la forma en la cual se debe abordar el problema involucra un conjunto de visiones del problema, que deben analizarse por separado, para evaluar su pertinencia y posteriormente su agregación en una plataforma de análisis de decisiones.

6. REFERENCIAS

CHERNI, J.; DYNER, I.; HENAO, F.; JARAMILLO, P.; SMITH, R.; OLALDE, R. "Energy supply for sustainable rural livelihoods. A multi-criteria decision-support system" *Energy Policy* Vol 35 pp 1493–1504. 2007.

DAVIS, J.; EISENHARDT, K. & BINGHAM, C. 2007. *Developing theory through simulation methods*. *Academy of Management*, 32(2), 480-499.

HELPMAN, E. "The Mystery of Economic Growth". MIT Press. Cambridge, MA. USA. 2004.

HOBBS, B. F. and HORN, G. "Building public confidence in energy planning: a multimethod MCDM approach to demand-side planning at BC gas". *Energy Policy*, 25, No. 3, pp. 357-375. 1997.

KAREKEZI, S. and KITHYOMA, W. "Renewable energy strategies for rural Africa: is a PV-led renewable energy strategy the right approach for providing modern energy to the rural poor of sub-Saharan Africa?" *Energy Policy* 30, pp. 1071-1086. 2002

LANDAU, R. "How competitiveness can be achieved: fostering economic growth and productivity". *Technology and economics*, National Academy Press. Washington. 1991.

MCINTYRE, J. & PRADHAN, M. 2003. A systemic approach to addressing the complexity of energy problems. *Systemic practice and action research*, 16(3), 213–223.

PAINULY, J. & FENNHANN, J. 2002. *Implementation of Renewable Energy Technologies—opportunities and barriers—Summary of country studies*. Roskilde: Risoe National Laboratory.

RAHMANDAD, H. et al., 2007. Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion : Comparing Agent-Based and Differential Equation Models. *Management Science*, 1-33.

ROSELAND, M. "Sustainable community development: integrating environmental, economic, and social objectives". *Progress in Planning*. 54 (2000), pp. 73–132. 2000.

SMITH, R. AND MESA, O. "A rural electrification expansion model". International Transactions in

Operational Research. 3, pp 319 – 325. 1996.

Envejecimiento poblacional y salud: Análisis del impacto en las finanzas públicas a través de Dinámica de Sistemas

José M. Bando Carranza**, Sergio Arturo Treviño Iruegas**, Alejandro Blanco Siller**,
Rafael E. Bourguet Díaz*, Gloria Pérez Salazar*

** Escuela de Graduados en Administración Pública y Política Pública

* Ingeniería Industrial y de Sistemas

Tecnológico de Monterrey, Campus de Monterrey

A00A00784167@itesm.mx, A00165268@itesm.mx, A00596075@itesm.mx, bourguet@itesm.mx,
gloria.perez@itesm.mx

Resumen: El cambio en la pirámide poblacional en México traerá consecuencias relativas a los diferentes grupos de edad. El presente trabajo es un estudio prospectivo que utiliza la metodología de Dinámica de Sistemas y el diseño de escenarios bajo el concepto de ejes de Peter Schwartz para estudiar el impacto del envejecimiento poblacional en el sector salud y su repercusión en las finanzas públicas. En el documento se exponen los principales supuestos e información considerada durante construcción del modelo de simulación, implementado con el paquete computacional *iThink*, así como el diseño y análisis de escenarios llevados al modelo de simulación para observar el comportamiento dinámico de los mismos. Finalmente, se discuten recomendaciones que apuntan a políticas y decisiones para incidir en el fenómeno.

Palabras Claves: simulación, escenarios, envejecimiento poblacional, políticas públicas.

Abstract: The change in the population pyramid in Mexico will bring consequences to the different groups of age. The present work is a prospective study that uses the methodology of System Dynamics and a Scenario Design by Peter Schwartz's axes to study the impact of the population aging in the health sector and his repercussion in the public finances.

Keywords: simulation, scenarios, population aging, public policy.

INTRODUCCIÓN

En México, el Consejo Nacional de Población estima que actualmente existen 8.9 millones de adultos mayores de 60 años, lo que representan 8.6% de la población actual, proyectando el 13.2% y 32.4% al

2020 y al 2050 respectivamente, es decir, en el año 2050 cerca de uno de cada tres habitantes se encontrará en este grupo de edad.

Lo anterior representará un reto para el Sistema de Salud en México; ya que por un lado se incrementa la población en el grupo etario que más demanda servicio y éstos son más costosos.

Por otro lado, la estructura del Sistema de Salud Público presenta serias deficiencias operativas, no permite uso óptimo de los recursos y de la infraestructura instalada.

La infraestructura de salud medida en camas por cada 100 mil habitantes, dista mucho de estar cerca de los estándares de infraestructura y atención médica recomendados por la OCDE en el reporte "*Health Data 2009: How Does Mexico Compare*"¹; teniendo en la actualidad aproximadamente 1 cama por 1.000 habitantes; siendo el estándar 3.7.

El sistema de salud con el fin de poder satisfacer las demandas de la población; requiere cada vez más recursos económicos; ejerciendo más presión sobre la economía del país; que justamente es en estos tiempos donde requiere de la mayor cantidad de recursos para potenciar el crecimiento del empleo y detonar la generación de recursos del Estado que cubran los rezagos estructurales que el país tiene en materia de salud, educación, vivienda, fomento económico y social.

ESTRUCTURACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

¿Cuál será el efecto que tendrá el envejecimiento de la población en el uso de recursos del sector salud?

¿Está México preparado? ¿Qué acciones pueden cambiar la tendencia actual?

Al pensar en envejecimiento de la población y las necesidades de recursos de salud, es muy importante considerar el costo de atención y la capacidad de pago de los adultos y adultos mayores (60 años o más) que tienen y tendrán, ya que figuran como las principales causas para que gran parte de la generación *babyboomers* (nacidos entre 1946 y 1964) emigre del sistema de salud privado, hoy gasto de bolsillo o seguro de gastos médicos, al sistema público. ¿Pero por qué emigrar de un sistema a otro? ¿Cómo se financiará? ¿Cuál es el costo de atención?

Estructuración de cobertura de servicio de salud

Actualmente 34% de la población hace uso de servicios privados de salud y un 38.9% de la población se encuentra dentro de la seguridad social; considerando que la generación *babyboomers* está entrando en sus años 60 próximos al retiro y en gran medida han mantenido el sistema de salud a través de su gasto de bolsillo y aportaciones al sistema de salud, en pocos años pasarán de contribuyentes a usuarios de los servicios públicos de salud, creando severos problemas en el financiamiento del sector salud, dicha estructura se observa en la **Figura 1**.

	Públicos		
	Servicios a Público Abierto	Seguridad Social	Servicios Privados
Perfil Usuarios	Desempleados o empleados informales y sus familias	Empleados formales y sus dependientes	Empleados de clase media a alta en empleos formales e informales y sus familias
% de Población	28.9% de población	38.9% de población	24.2% de población - Seguro privado cubre al 18%
Proveedores	19K clínicas, 800 hospitales		Muy fragmentado - 34 unidades médicas privadas y miles de consultorios privados
Programas Claves	Secretaría de Salud - Servicios de salud abierto al público en general IMSS-Oportunidades Operado por IMSS para los desempleados y la gente de la tercera edad Seguro popular Financiado por gobierno federal y estatal	IMSS - Empleados sector privado y sus familias ISSSTE - Empleados gobierno y sus familias Otras - Incluyendo PEMEX SEMAR Y SEDENA	Muchos hospitales independientes y consultorios Grupo Ángeles es el multihospital privado más grande de México
Fondos	Presupuesto gobierno federal y estatal	Por empleadores complementado por presupuesto gobierno	De bolsillo

Figura 1. Estructura de cobertura de servicios de salud.

Fuente: Secretaría de Salud / INEGI

Distribución del gasto. La distribución del gasto nacional en salud representa alrededor del 6.4% del PIB nacional, del cual el 47% es realizado por fondos del gobierno federal y estatal, complementado por las aportaciones de empleados en el sector privado y empleados de gobierno, así como otras dependencias como PEMEX, SEDENA y otras. El restante 53% es gasto realizado de bolsillo, es decir, cuando se requiere de servicios de salud se paga de la bolsa propia, como se presenta en la **Figura 2**.

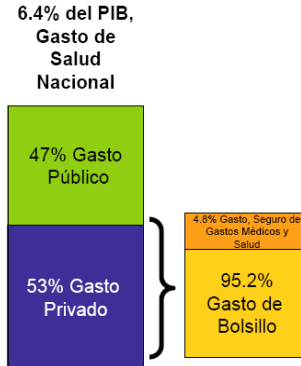


Figura 2. Distribución del gasto.
Fuente: Resumen Ejecutivo AMIS.

Relación de costos de atención hospitalaria

México no es el único, ni el primer país que enfrentará estos retos, de acuerdo a la *UnitedStatesGovernmentAccountability Office*, en EE. UU., las proyecciones demográficas demuestran que en el año 2000 existían más de 35 millones de americanos con 65 años o más (12% de la población) y para el 2020 este porcentaje crecerá al 16 por ciento —1 de cada 6 americanos— que representan 20 millones más de adultos mayores. Esto significaría un cambio en el gasto como porcentaje del PIB en salud de un 20% en el 2006 a un 30% en el 2030 y un 40% en el 2040. Esta necesidad se verá comprometida al cambiar la relación entre el número de trabajadores y número de retirados, lo cual pone en peligro la solvencia de los programas federales.

En el sector privado de salud, como muestra la figura 3, el gasto promedio en salud que recibe una persona de más de 65 años cuesta de 2.7 a 4.8 veces el gasto promedio de una persona de 0 – 64 años. En otras palabras, 35 – 50% del gasto en salud en la vida de una persona se registra en esta última etapa, esta relación se aprecia en la **Figura 3**.

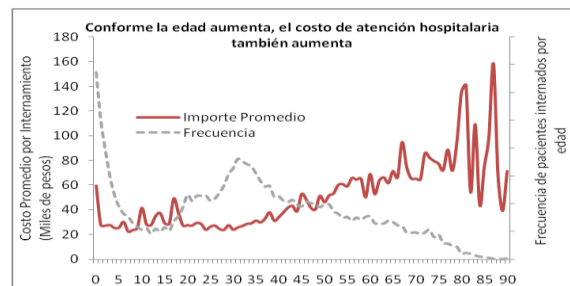


Figura 3. Costo promedio de atención hospitalaria privada por edad y frecuencia.

Fuente: Análisis Hospital San José Tec de Monterrey.

Conforme la edad aumenta, el costo de la atención hospitalaria también aumenta, al analizar detenidamente la **Figura 3** que hace referencia al costo promedio por edad y la frecuencia por edad del uso de servicios de salud privada, se observa que a partir de los 40 años la frecuencia y el costo promedio crecen de manera inversa y no es porque la gente de mayor edad no tenga la necesidad de servicios de salud, esto está más ligado a la baja capacidad de pago y al alto costo promedio para atender enfermedades crónicas degenerativas relacionadas con las personas de la tercera edad.

En cambio, el costo de las primas de seguros de gastos médicos mayores aumenta de manera exponencial, pudiendo pagar a los 60 años poco más de 60 mil pesos por la prima de seguro, cifra que se convierte difícil de mantener por varios años cuando ya no se cuenta con un trabajo estable y sólo se depende de una pensión de retiro, jubilación o ahorros a través del tiempo. La **Figura 4** expone la proyección de los costos promedio de seguro de gastos médicos mayores por edad.

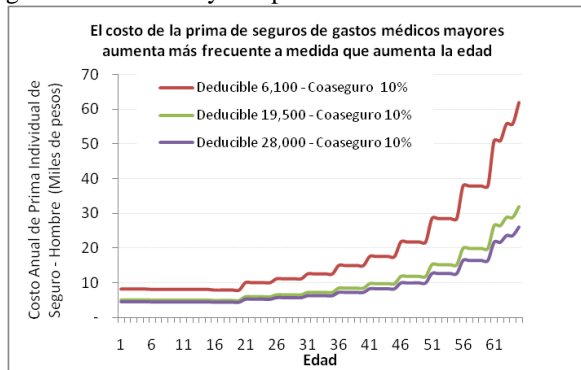


Figura 4. Costo promedio de seguro de gastos médicos mayores por edad.

Fuente: Análisis Hospital San José Tec de Monterrey

Una manera sencilla de evitar este gasto para los adultos mayores, es hacer uso de los beneficios del sistema de seguridad social al cual contribuyeron durante los años de trabajo, lo que los hace acreedores a beneficios de servicios de salud, la cual es una fuerte razón para emigrar, convirtiéndose de contribuyentes a usuarios.

MODELO DE SIMULACIÓN

De acuerdo con la problemática definida, la hipótesis que se desea probar es la siguiente:

“El envejecimiento de la población en los próximos 40 años hará que la demanda de servicios de salud pública se intensifique, provocando desbalances en la economía nacional de ser atendidas todas las

presiones y demandas sociales por servicios de salud, donde el déficit en salud excederá en 5 veces el presupuesto federal anual asignado en el 2050”.

El objetivo es modelar y simular el efecto que tendrá el envejecimiento de la población en el uso de recursos del sector salud; así como también acciones que pudiesen alterar la tendencia actual de la dinámica de la situación y sus efectos en el corto, mediano y largo plazo.

Factores considerados en la modelación:

- El sistema económico está con presiones económicas internas y externas, afectando sensiblemente la posibilidad de mayores transferencias de recursos a sistema de salud.
- Sistema de salud fragmentado que propicia un ineficiente uso de las instalaciones y la tecnología; así como el incremento de gastos administrativos; que no ofrece un 100 de cobertura. El compromiso del gobierno federal es que antes de finalizar este sexenio México alcanzará la cobertura universal de salud, es decir, médico, medicinas y tratamiento para todo mexicano y mexicana que lo necesite.
- Dentro de los factores políticos destaca la falta de voluntad que muestran algunos de los principales actores del sector salud hacia el cambio. Esta resistencia al cambio puede deberse a inercias, conformismo y rutinas arraigadas.
- En el grupo de factores financieros destacan la insuficiencia de la inversión en salud, que se ilustra de manera muy clara por el bajo porcentaje del PIB que México le dedica a la atención de la salud, la mala distribución de los recursos entre instituciones, entidades federativas y rubros de gasto, y la inversión insuficiente en infraestructura para la atención especializada, ambulatoria y hospitalaria.
- Seguridad Social (Público): Diversidad de instituciones con una gama heterogénea de servicios otorgados; con integración vertical. (IMSS, ISSSTE, SEGURO POPULAR, PEMEX, SSA). A efecto de cumplir con tal propósito el Seguro Social comprende el régimen obligatorio y el régimen voluntario. El régimen obligatorio cuenta con cinco ramos de seguro que se financian con contribuciones provenientes de los patrones, el Estado y los propios trabajadores. Estos son: enfermedades y maternidad, riesgos de trabajo; invalidez y vida, retiro, cesantía en edad avanzada y vejez, y guarderías y prestaciones sociales.

- Son sujetos de aseguramiento del régimen obligatorio: los trabajadores, los miembros de sociedades cooperativas de producción y las personas que determine el Ejecutivo Federal a través del decreto respectivo.
- De paga (Privado): el origen del pago de los servicios se diferencia en dos elementos básicos. Bolsillo y aseguradoras (Seguro de Gastos Médicos).
- En el caso de la población y estructura poblacional, la pirámide poblacional sufrirá ensanchamientos en los próximos años en el grupo de edad por estudiar. Por otro lado, la infraestructura deficiente del sistema actual requiere de tecnología de vanguardia y ciclos cortos de vida del equipo médico, lo cual propiciará mayor presión sobre los costos de los servicios.

Alcance del modelo. El modelo representa una abstracción de la realidad y deja fuera variables que otros modeladores pudieran integrar en sus modelos, tales como: presión de sindicatos, morbilidad, tasas de nacimiento, guerras, epidemias, desastres naturales, entre algunas relevantes. Dichas variables y supuestos quedan fuera del alcance de estudio, el cual se enfoca en el costo de atención y la capacidad de pago de los adultos y adultos mayores.

La estructura del modelo. Se compone por nueve sectores que representan la estructura de la dinámica del sistema, ver **Figura 6**, estos son:

1. Gasto público en salud.
2. Gasto privado en salud.
3. Demanda de servicios de salud de menores a 18 años.
4. Demanda de servicios de salud de 18 a 65 años.
5. Demanda de servicios de salud de mayores a 65 años.
6. Actividad económica.
7. Finanzas públicas.
8. Inversión privada en infraestructura.
9. Infraestructura e inversión en salud pública.

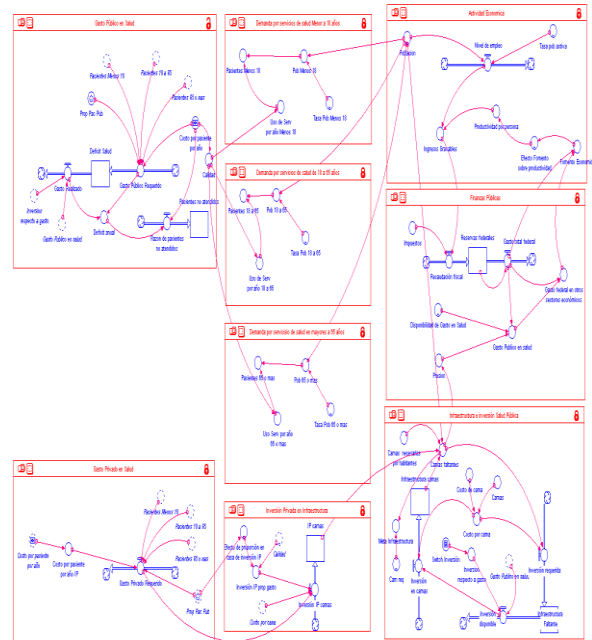


Figura 6. La estructura del modelo

Elementos de la parametrización del modelo. Para representar la inversión en infraestructura y equipamiento del sector salud, se consultó con expertos acerca de los parámetros utilizados comúnmente, concluyendo que el más representativo para el modelo era el parámetro de inversión realizada por cama hospitalaria. De esta forma se hizo una investigación en detalle de la inversión en infraestructura y equipamiento realizada en hospitales generales públicos en México en los últimos cinco años para obtener la relación de dinero y camas, generando así el parámetro de 1.5 millones por cama. De esta forma se podría estimar fácilmente el déficit en infraestructura en salud si se tomaban como referencia los parámetros de la OECD, de razón de camas por cada mil habitantes. El parámetro de inversión en infraestructura resultó ser muy útil ya que refleja un estimado de la realidad y permite conocer en el modelo el rezago de infraestructura en México en función camas hospitalarias.

El desarrollo del modelo contempló la interacción entre subsistemas de finanzas públicas y actividad económica, esta relación podría haberse generado en múltiples niveles de sub agregación, lo cual representaba un reto en la complejidad. Para efectos del modelo se planteó un parámetro de productividad por persona, la intención inicial fue captar la relación de ingresos gravables por el gobierno federal y la relación que existe por persona laboral activa (tendencia conocida para el 2050 elaborada por

CONAPO). El resultado del análisis del parámetro fue satisfactorio, ya que en la corrida base del modelo el comportamiento fue similar a lo esperado si se compara con la base histórica (2005 a 2009) donde en este periodo la generación de ingresos para el gobierno federal resultó dentro de los niveles esperados. Para ello también se agregó un segundo parámetro de impuestos, que es muy superior al promedio de la población actual, ya que éste se basa en el promedio de la población laboral activa, siendo éste un 45% de la base de ingresos gravables por persona de 128 mil pesos por año.

PROSPECTIVA: SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Con base en el diseño y desarrollo del modelo de simulación “Envejecimiento y salud: efecto en las finanzas públicas”, se obtuvo un entendimiento profundo de las relaciones causales entre los subsistemas de finanzas públicas, infraestructura en salud, actividad económica, demanda de servicios de salud por grupo de edad, atención y gasto público privado en salud.

Estas relaciones permitieron, a la vez, generar escenarios a partir de la modificación de las variables identificadas como sensibles:

- Costo por paciente por año.
- Proporción de pacientes públicos del total de pacientes.
- Uso de servicios de salud de pacientes mayores a 65 años.
- Inversión en infraestructura pública como proporción del gasto en salud.
- Tasa de impuestos.

Las políticas que se valoraron para mejorar la problemática fueron: inversión del gobierno en salud, participación de la iniciativa privada, asignación presupuestal y transferencia eficaz de recursos. Estas políticas van dirigidas a desincentivar la inversión en infraestructura gubernamental, transferencia de recursos hacia la iniciativa privada para la atención de servicios en forma transparente, buscando un menor costo promedio y mayor cobertura de servicios.

Las variables seleccionadas para observar tendencias de interés fueron: meta en infraestructura, camas faltantes, déficit en salud, proporción de pacientes en el sector público y costo por paciente por año.

Construcción de escenarios. Con base en la herramienta *Ejes de Peter Schwartz*, se definieron cuatro escenarios (**Figura 11**) para la situación bajo estudio; de acuerdo al nivel de participación del sector privado en cuestión de cobertura y las estrategias del gobierno para fomentar la disminución del déficit del sector.

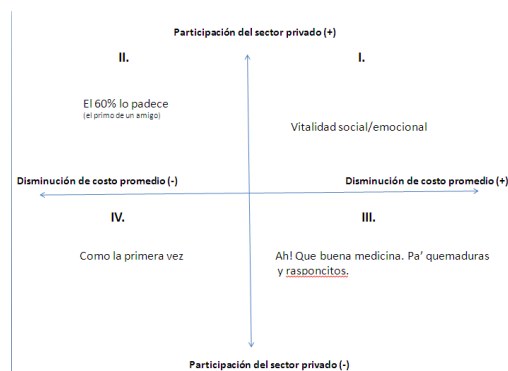


Figura 11. Representación de escenarios

De las cinco variables arriba mencionadas como importantes para el análisis de escenarios, *Costo por paciente por año* y *participación del mercado privado en salud* son las variables consideradas de mayor relevancia, las cuales aparecen como los ejes para definir los cuadrantes.

Con base en el aumento y disminución de estas dos variables se construyeron los escenarios *I, II, III* y *IV*, los cuales representan combinaciones probables del futuro, es decir, toma de decisiones que reflejan cambio en las políticas actuales.

Escenario I Vitalidad social

En el escenario I, se acumulan las decisiones tomadas de manera adecuada para México, ya que permite cubrir el déficit en atención en salud, así como también permite alcanzar el 76% de infraestructura necesaria en salud de acuerdo a los estándares planteados por la OECD. Partiendo de los supuestos del modelo en donde la población se comporta de acuerdo a las proyecciones de CONAPO (121 millones de mexicanos y 21% de adultos mayores) y se asume un crecimiento de la economía de México en función de la población laboral activa, se recomienda una cesión de la participación pública en salud al sector privado, para en conjunto buscar obtener eficiencia en salud que conduzca a una alta calidad de atención que se refleje en la cantidad de veces que una persona requiere de los servicios de salud.

Los supuestos del escenario son:

1. El sector privado tendrá una mayor cobertura en el sector salud.
2. Se generará un ahorro en inversión en infraestructura por parte del gobierno, comportamiento dado por la implementación de la política de incentivos.
3. Los costos promedio de atención disminuirán.

Para el año 2015, el gobierno ha dejado de invertir en salud y empieza una transición de pacientes públicos al sector privado pagados por el gobierno. Para el 2050 se está a un 76% de la meta en infraestructura planteada por la OECD (24% en 2009). Los valores incorporados al modelo están en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Escenario I, valor de las variables

Año	Prop Pac Pub	Costo Promedio	Swicht Inversión
2005	0.65	8000	1
2015	0.6	7700	0
2025	0.5	7400	0
2035	0.45	7100	0
2045	0.4	7000	0

Además, se ha logrado ir disminuyendo el costo por persona cada año, al mismo tiempo que se han logrado optimizar costos debido a la calidad en la atención. La proporción de pacientes atendidos por el sector público se ha invertido, siendo éstos ahora el 40%. Para el 2050, erradicar déficit en salud es tarea casi cumplida, es cuestión de mantener las buenas decisiones tomadas (base 0 en 2005), este comportamiento se observa en la **Figura 12**.

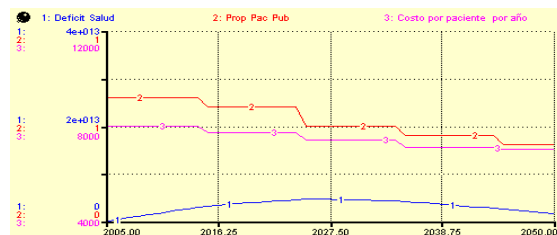


Figura 12. Comportamiento del déficit en salud

Comportamiento del modelo con el input del escenario II

El escenario II representa un escenario donde las decisiones acertadas no son tomadas en el momento

adecuado, por lo que se sufre más para alcanzar la tendencia decreciente en el déficit en salud.

Dentro de los supuestos del escenario, considera que se llegará a una participación del 50% para el sector público y privado en cuestión de cobertura de servicios, y generará un ahorro en inversión en infraestructura por parte del gobierno, comportamiento dado por la implementación de la política de incentivos, y por último, los costos de atención se incrementan de 8.000 en el año 2005 a 9.000 para el año 2035, posteriormente disminuyendo a 8.500 para el año 2045. (Ver inputs del modelo para el escenario II, **Tabla 2**).

Tabla 2. Escenario II, valor de las variables

Año	Prop Pac Pub	Costo Promedio	Swicht Inversión
2005	0.65	8000	1
2015	0.6	8500	0
2025	0.55	8500	0
2035	0.5	9000	0
2045	0.5	8500	0

Para el año 2015, el gobierno ha dejado de invertir en salud y empieza una transición de pacientes públicos al sector privado pagados por el gobierno. Para el 2050 se está a un 74% de la meta en infraestructura planteada por la OECD (24% en 2009).

Se observa una ineficiencia en los costos de atención. La proporción de pacientes atendidos por el sector público ha cambiado a 50/50. Para el 2050, el déficit está cercano a dejar de crecer (base 0 en 2005), este comportamiento se observa en la **Figura 13**.

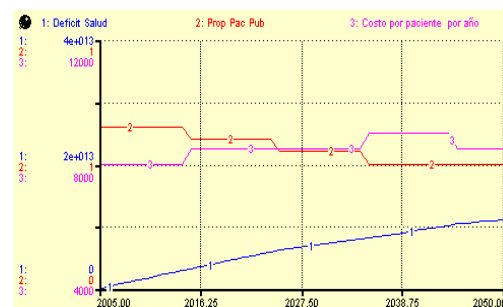


Figura 13. Comportamiento del déficit en salud, Escenario II

Comportamiento del modelo con el input del escenario III

Por otra parte, el escenario III es un escenario de alto riesgo, ya que se han tomado decisiones de corto plazo que han permitido el crecimiento en infraestructura, pero aumenta constantemente el déficit en salud.

Los supuestos para el escenario III muestran que el nivel de participación en cobertura del sector público aumentará de un 65% en el año 2005 a un 72% en el año 2045. El gobierno no dejará de invertir en infraestructura y se generará un ahorro en el costo promedio de atención de \$8.000 en el año 2005 a \$6.000 en el año 2045. (Ver inputs del escenario III, **Tabla 3**).

Tabla 3. Escenario III, valor de las variables

Año	Prop Pac Pub	Costo Promedio	Swicht Inversión
2005	0.65	8000	1
2015	0.65	7000	1
2025	0.67	5800	1
2035	0.7	5500	1
2045	0.72	6000	1

Para el año 2015, el gobierno mantiene constante el nivel de inversión en salud. Para el 2050 se está a un 56% de la meta en infraestructura planteada por la OECD (24% en 2009).

Se observa una estrategia de eficiencia en los costos de atención que lleva a aumentarlos al disminuir la calidad. La proporción de pacientes atendidos por el sector público ha aumentado a 72%. Para el 2050, el déficit aumenta linealmente (base 0 en 2005), este comportamiento se observa en la **Figura 14**.

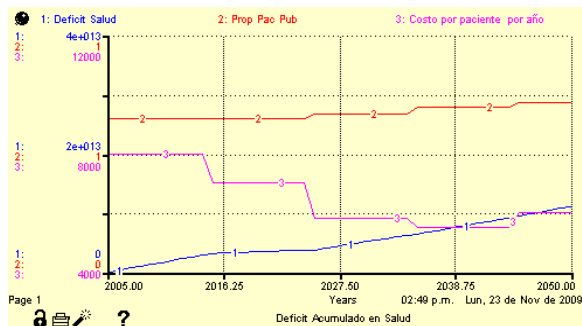


Figura 14. Comportamiento del déficit en salud, Escenario III

Comportamiento del modelo con el input del escenario IV

Por último, el escenario IV, un escenario de fracaso donde la hipótesis dinámica resulta verdadera, el sistema financiero mexicano ha fracasado a partir del año 2038 donde se considera no sostenible el déficit en salud en relación al presupuesto disponible.

Los supuestos del escenario son los siguientes: el nivel de participación en cobertura del sector público aumentará de un 65% en el año 2005 a un 72% en el año 2045, el gobierno no dejará de invertir en infraestructura y se generará un ahorro en el costo

promedio de atención de \$8.000 en el año 2005 a \$12.000 en el año 2045. (Ver inputs del escenario IV, **Tabla 4**).

Tabla 4. Escenario IV, valor de las variables

Año	Prop Pac Pub	Costo Promedio	Swicht Inversión
2005	0.65	8000	1
2015	0.65	9000	1
2025	0.67	10000	1
2035	0.7	11000	1
2045	0.72	12000	1

Para el año 2015, el gobierno mantiene constante el nivel de inversión en salud. Para el 2050 se está a un 61% de la meta en infraestructura planteada por la OECD (24% en 2009).

Se observa una ineficiencia en los costos de atención. La proporción de pacientes atendidos por el sector público ha aumentado a 72%. Para el 2050, el déficit aumenta exponencialmente (base 0 en 2005), este comportamiento se observa en la **Figura 15**.

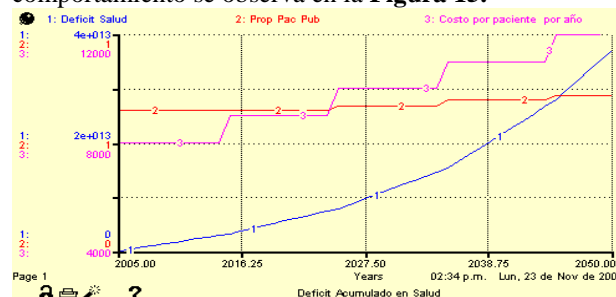


Figura 15. Comportamiento del déficit en salud, escenario IV

RECOMENDACIONES SOBRE POSIBLES CURSOS DE ACCION

Las recomendaciones posibles para establecer el mejor curso de acción del modelo es escoger la configuración del escenario 1; siendo el más deseable para el país, ya que de manera efectiva establece las estrategias que el gobierno debe tomar para dejar de invertir en salud y empezar a fomentar una transición de pacientes públicos al sector privado pagados por el gobierno.

Las **Figuras 16 y 17** muestran los niveles de desarrollo en infraestructura y la reducción del déficit de gasto en el sector salud.

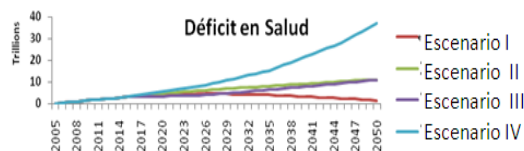


Figura 16. Comparación del déficit en salud de los cuatro escenarios.

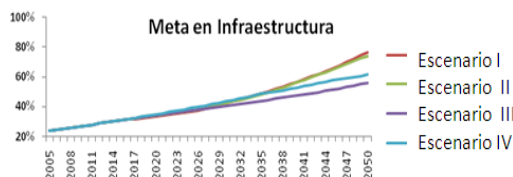


Figura 17. Comparación de las metas en infraestructura de los cuatro escenarios.

CONCLUSIONES

¿Cuál será el efecto que tendrá el envejecimiento de la población en el uso de recursos del sector salud? ¿Está México preparado? ¿Qué acciones pueden cambiar la tendencia actual? Para dar respuesta a estas preguntas se realizó el ejercicio de modelación dinámica que permitiera la creación de escenarios con las variables clave.

Para la evaluación de la hipótesis dinámica planteada en un inicio donde “el envejecimiento de la población en los próximos 40 años hará que la demanda de servicios de salud pública se intensifique, provocando desbalances en la economía nacional, de ser atendidas todas las presiones y demandas sociales por servicios de salud, donde el déficit en salud excederá en 5 veces el presupuesto federal anual asignado en el 2050” se construyó el modelo de “Envejecimiento y salud: efecto en las finanzas públicas”, el cual permite entender las relaciones de causa y efecto entre los subsistemas de finanzas públicas, infraestructura en salud, actividad económica, demanda de servicios de salud por grupo de edad, atención y gasto público privado en salud. Estas relaciones permitieron generar escenarios a partir de la modificación de las variables identificadas como sensibles: costo por paciente por año, proporción de pacientes públicos del total de pacientes, uso de servicios de salud de pacientes mayores de 65 años, inversión en infraestructura pública como proporción del gasto en salud y tasa de impuestos; de las cuales Costo por paciente por año y participación del mercado privado en salud, son las variables consideradas de mayor relevancia en este modelo. En base al aumento y disminución de estas dos variables

se construyeron los escenarios Pharmaton, Xiloproct, Vitacilina y Viagra los cuales representan combinaciones probables del futuro, es decir, toma de decisiones que reflejan cambio en las políticas actuales.

De acuerdo a los escenarios analizados (figura 65), Pharmaton es el escenario que acumula las decisiones tomadas de manera adecuada para México, ya que permite cubrir el déficit en atención en salud, así como también permite alcanzar el 76% de infraestructura necesaria en salud de acuerdo a los estándares planteados por la OECD. Partiendo de los supuestos del modelo en donde la población se comporta de acuerdo a las proyecciones de CONAPO (121 millones de mexicanos y 21% de adultos mayores) y se asume un crecimiento de la economía de México en función de la población laboral activa, se recomienda una cesión de la participación pública en salud al sector privado, para en conjunto buscar obtener eficiencia en salud que conduzca a una alta calidad de atención que se refleje en la cantidad de veces que una persona requiere de los servicios de salud. Se concluye con el análisis de escenarios, que la organización del Sistema de Salud en México no está preparada para soportar las condiciones probables a aparecer en un futuro cercano. En especial, llama la atención que de continuar con la tendencia actual el colapso se dará durante el periodo de nuestra proyección del modelo de 40 años.

Se observó un efecto contraintuitivo que a mayor gasto en infraestructura, mayor será el gasto corriente en el sector, y se genera una bola de nieve donde los hospitales públicos, al no hacer uso eficiente de sus recursos, caerán en un síndrome de dependencia cada vez mayor. Por lo tanto, una recomendación será balancear dicho comportamiento con políticas diseñadas para optimizar los recursos y aumentar la cobertura en el sector salud.

Se recomienda al gobierno incrementar gradualmente la participación de la iniciativa privada en la atención del excedente de pacientes, al mismo tiempo que se debe generar el compromiso de calidad para reducción de costos para disminuir la siniestralidad y permitir la atención de más mexicanos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Organization for Economic Co-operation and Development. (2009). Briefing note for OECD Health Data 2009: How Does Mexico Compare. Obtenido en Septiembre 1, 2009, de <http://www.oecd.org/dataoecd/46/9/38980018.pdf>

[2] Advance Care Planning in the Delivery of Adult Protective Services. Ellen L Csikai, Kathy Black.

Journal of Social Service Research. St. Louis: Oct 2009. Vol. 35, Iss. 4; pg. 311

[3] Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. (2009). Análisis y Modelado de Sistemas de Telesalud. Obtenido en septiembre 16, 2009 de http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/presentaciones-foro2007/19sep/e-salud/juan_adriano_moran.pdf

[4] Comisión Coordinadora de Institutos Nacionales de Salud y Hospitalarios de Alta Especialidad (CCINSHAE) Obtenido en septiembre 14, 2009 de <http://www.ccinshae.salud.gob.mx/>

[5] Consejo Nacional de Población. (s.f.). Proyecciones de la Población de la República Mexicana. Obtenido en septiembre 22, 2009 de www.conapo.gob.mx/

[6] Cuatro conceptos básicos para la Reforma del Sector Salud en México. Obtenido en septiembre 14, 2009 de http://www.asivamosensalud.org/descargas/E_Gonzalez_Pier.pdf

[7] DGIS – Dirección General de Información de Salud: <http://dgis.salud.gob.mx/>

[8] Diario Oficial de la Federación. (1995). Ley del Seguro Social. Obtenido en septiembre 22, 2009 de http://www.imss.gob.mx/instituto/historia/1995_nueva_ley.htm

[9] Diario Oficial de la Federación. (2007). Ley del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. Obtenido en septiembre 22, 2009 de <http://www.issste.gob.mx/nuevaley/leydelissste.pdf>

[10] Dirección General de Evaluación del Desempeño del Sector Salud en México. Obtenido en septiembre 14, 2009 de <http://www.dged.salud.gob.mx/interior/publi/publica.htm>

[11] Economic Policy Committee and the European Commission. (2006). The impact of ageing on public expenditure: projections for the EU25 Member States of pensions, health care, long term care, education and unemployment transfers (2004-2050). Obtenido en septiembre 1, 2009, de http://www.lex.unict.it/eurolabor/documentazione/altridoc/rapporti/dg_febbraio06.pdf

[12] Economist intelligence unit. (2009). México Healthcare and Pharmaceuticals Report. Obtenido en

septiembre 12, 2009 de <http://store.eiu.com/product/1557096955MX.html>

[13] El Observatorio de la Salud en América Latina y el Caribe. Obtenido en octubre del 2009 de: <http://www.observatoriodelasalud.net/>

[14] FORRESTER, Jay (1971). Counterintuitive behavior of Social Systems.

[15] Fundación Mexicana para la Salud, A.C. obtenido en noviembre 4 del 2009 de: <http://www.funsalud.org.mx/principal2.html>

[16] Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los trabajadores del Estado. Estadísticas de la población. Obtenido en Octubre 20, 2009 de <http://estadistica.issste.gob.mx/poblacion/index.htm>

[17] Instituto Mexicano del Seguro Social. (2009) Cubo de información directiva CP. Obtenido en septiembre 12, 2009 de <http://www.imss.gob.mx/estadisticas/financieras/Cubo.htm>

[18] Instituto Mexicano del Seguro Social. (2009). ACUERDO por el que la Unidad del Programa IMSS-Oportunidades emite las Reglas de Operación del Programa IMSS-Oportunidades para el Ejercicio Fiscal 2009. Obtenido en septiembre 16, 2009 de <http://www.imss.gob.mx/NR/rdonlyres/6DE68812-6643-44B0-9887-0BE9911212F1/0/ReglasdeOperaci%C3%B3n2009.pdf>

[19] Instituto Mexicano del Seguro Social. (diciembre, 2007) Valuación Actuarial del Régimen de Jubilaciones y Pensiones y Prima de Antigüedad de los Trabajadores del IMSS al 31 de diciembre 2007. Obtenido en septiembre 2, 2009, de <http://www.imss.gob.mx/servicios/linea>

[20] Instituto Nacional de Salud Pública. Obtenido en noviembre 3 del 2009 de <http://www.insp.mx/>

[21] Knaul, F., Arreola, H., Borja, C., Méndez, O., y Torres, A. (2003). El Sistema de Protección Social en Salud de México: efectos potenciales sobre la justicia financiera y los gastos catastróficos de los hogares. Obtenido en septiembre 17, 2009 de <http://www.funsalud.org.mx/casesalud/caleidoscopio/20%20ElSistemaDeProteccion.pdf>

[22] Lee, Andrew. Engineer (00137758), 10/8/2004, Age concern. Vol. 293 Issue 7661, p32-33, 2p; (AN 14781391)

- [23] Lessons in Universal Health Insurance Models. Obtenido en Octubre del 2009 de: http://www.cfr.org/publication/19871/lessons_in_universal_health_insurance_models.html
- [24] Mexico to Achieve Universal Health Coverage by 2011: President Calderón. Obtenido en Octubre del 2009 de <http://presidencia.gob.mx/en/press/?contenido=42321>
- [25] Organización Mundial de la Salud. (2006). Perfil de México del Observatorio Global para la salud virtual desarrollado por la Organización Mundial de la Salud. Obtenido en septiembre 14, 2009 de http://www.who.int/goe/data/country_report/mex.pdf
- [26] Organización Mundial de la Salud. (s.f.). Temas de la salud: envejecimiento. (Sitios conexos, notas descriptivas, publicaciones, reportajes, entre otros). Obtenido en septiembre 14, 2009 de <http://www.who.int/topics/ageing/es/>
- [27] Organization for Economic Co-operation and Development. (2009). Achieving higher performance: Enhancing spending efficiency in health and education. OECD Economic Surveys: México. ISBN 978-92-64-05441-7. Obtenido en septiembre 5, 2009 de http://www.oecd.org/document/48/0,3343,en_33873108_33873610_43394096_1_1_1_1,00.html
- [28] Presidencia de la República. (2006). México 2030 Proyecto Gran Visión Eje. 3 Igualdad de oportunidades: Salud Resultado de los talleres temáticos – documento de trabajo. Obtenido en septiembre 2, 2009 de http://www.vision2030.gob.mx/pdf/15analisis/IO_SALUD.pdf
- [29] ROJAS, G. y ULLOA, O. (s.f.). Biblioteca Jurídica Virtual. Seguridad Social en México: presente y futuro. Obtenido en septiembre 1, 2009, de <http://www.bibliojuridica.org/libros/1/357/5.pdf>
- [30] Seguro Popular. ¿Quiénes somos? Obtenido en septiembre 14, 2009 de http://www.seguro-popular.salud.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=2
- [31] SIG – Sistema de Información del Gasto. Egresos de la Federación: Análisis Funcional Programático Económico. Obtenido en Septiembre 14, 2009 de <http://cefp.dnsalias.org/index.php?node=15>
- [32] SINAIS – Sistema Nacional de Información de Salud. Obtenido en Septiembre 14, 2009 de <http://www.sinais.salud.gob.mx/basesdedatos/>
- [33] SISPA - Sistema de Información en Salud para Población Abierta. Obtenido en septiembre 14, 2009 de <http://pda.salud.gob.mx/sis07/>
- [34] Sistema de Protección Social en Salud. Obtenido en Septiembre 14, 2009 de <http://www.salud.gob.mx/dirgrss/srfrhs03.html>
- [35] STEINWALD, A. Bruce. (Director, Health Care) (2007). HEALTH CARE SPENDING Public Payers Face Burden of Entitlement Program Growth, While All Payers Face Rising Prices and Increasing Use of Services. Obtenido en septiembre 10, 2009 de <http://www.gao.gov/new.items/d07497t.pdf>
- [36] STERMAN, John. (2000). Business Dynamics. Irwin-McGraw Hill
- [37] ZWEIFEL, P., FELDER, S., y WERBLOW, A. (2004). Population Ageing and Health Care Expenditure: New Evidence on the "Red Herring". Obtenido en septiembre 20, 2009 de <http://ideas.repec.org/a/bla/geneva/v29y2004i4p652-666.html>

Capital intelectual, una aproximación a su valoración desde la Dinámica de Sistemas.

Intellectual capital, an approach to their assessment from the system dynamics

Guillermo López, Esp.¹, Jairo Estrada, Esp.², Diego Cuartas, Msc.³ y Santiago Hoyos, Msc.⁴

^{1,2,3}Escuela de Ingenierías, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín - Colombia.

⁴Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia-Medellín.

¹guillermo.lopez@upb.edu.co,

²jairo.estrada@upb.edu.co

³diego.cuartas@correo.upb.edu.co

⁴shoyos@unal.edu.co

Resumen: La valoración de una compañía ha pasado de la concepción de activos tangibles, fácilmente contables y medibles a considerar además activos intangibles como el Capital Intelectual. Es por esto que se hace relevante el análisis del estado actual y evolución de las variables básicas del Capital Intelectual en el interior de una compañía, además de ser considerado elemento fundamental en el proceso de innovación y desarrollo tecnológico, así como también una ventaja competitiva en la gestión del talento humano y en su capacidad de innovación.

En este artículo se realiza una aproximación a la valoración del Capital Intelectual desde un modelo de simulación en Dinámica de Sistemas que permita soportar un conjunto de decisiones estratégicas hacia la consecución de las metas en un caso de aplicación hipotético, en un programa específico de una institución de educación superior.

Palabras clave: activos intangibles, capital intelectual, capital estructural, capital relacional, capital humano, Dinámica de Sistemas, diagramas causales, docencia, investigación, extensión.

Abstract: The valuation of a company has moved from the concept of the easily valuable and measurable tangible assets, to the other intangible ones, like Intellectual Capital. For this reason, the analysis of the actual state and evolution of the basic

Intellectual Capital variables inside a company has become a relevant subject, and it is now considered a fundamental element in the processes of technological innovation and development, and it can be viewed as a competitive advantage in the human talent management aspect of innovation capability.

This article approaches the Intellectual Capital assessment from the study of a system dynamics simulation model that may support a set of strategic decisions towards the achievement of specific goals in a hypothetical case of one particular academic program of a higher education institution.

Key words: intangible assets, intellectual capital, structural capital, relational capital, human capital, intangibles, system dynamics, casual diagrams, teaching, extension, research.

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de Capital Intelectual proviene formalmente desde el año 1969, cuando el economista *John Kenneth Galbraith* sugiere que el Capital Intelectual representa más que simple conocimiento o intelecto, y que podría considerarse como una forma de creación de valor y como un activo en el sentido clásico del término.

Para entender el significado de Capital Intelectual como un activo intangible es necesario remitirse a las

diferentes estructuras de representación de la información sobre los activos de una empresa.

Desde antes de 1900 los balances de las empresas indicaban que el capital estaba representado por los activos tangibles y con un enfoque fundamentalmente financiero. Los activos estaban constituidos por la tierra, las instalaciones locativas, las materias primas, los productos terminados, las máquinas, el trabajo. Y como factores generadores de la riqueza de la sociedad se constituían la tierra, el trabajo, el capital y el conocimiento. La importancia relativa de cada uno de estos factores ha venido variando con el tiempo.

Desde el decenio de 1980, al comenzar la edad de la información, surge igualmente la diferencia entre el valor contable y el valor de mercado, con lo cual se quería indicar que los precios de los productos tenían incorporado un conocimiento especial, un resultado de un proceso con información, con conocimiento, un resultado que incluía la propiedad intelectual de la producción o del proceso productivo.

A partir del decenio 1991-2000 se da inicio a la llamada sociedad del conocimiento, en donde destacan los intangibles. Se señala que el factor que mayor incidencia tiene en la generación de la riqueza es el conocimiento. Por ello comenzaron a tenerse en cuenta dentro de los sistemas de gestión empresarial todos los aspectos que puedan incidir en el mejoramiento de las capacidades, conocimientos, y motivaciones del personal, tales como competencias, liderazgo, trabajo en equipo, clima organizacional, empoderamiento, planeación participativa, y muchos más. Se da pie para que el conocimiento comience a asumir un papel predominante: una fuente de primer orden en la creación de valor, es generador de ventajas competitivas.

A finales de los 90 el tema de Capital Intelectual comienza a verse de manera más clara en documentos, artículos, conferencias, y aparecen proyectos para su implantación y para su medición. Pero ha sido en el primer decenio del siglo 21 que el tema de Capital Intelectual ha venido cobrando fuerza, hasta el punto que grandes empresas tienen montajes completos de programas y equipos disponibles para hacer evaluaciones periódicas de su situación en el entorno internacional.

El esquema que mejor ha representado los tres enfoques que se han enunciado, es el modelo *Navigator de Skandia*, citado por *Edvinson y Malone* [1], en donde en la parte superior se muestra el pasado de la empresa con el enfoque financiero, en el medio aparece el presente de la empresa centrado en

los clientes y en los procesos, y en la base de la figura aparece el futuro de la empresa. Se destaca en la figura igualmente que en el centro se encuentra el enfoque humano, para indicar que en todos los enfoques representa el corazón de la empresa:

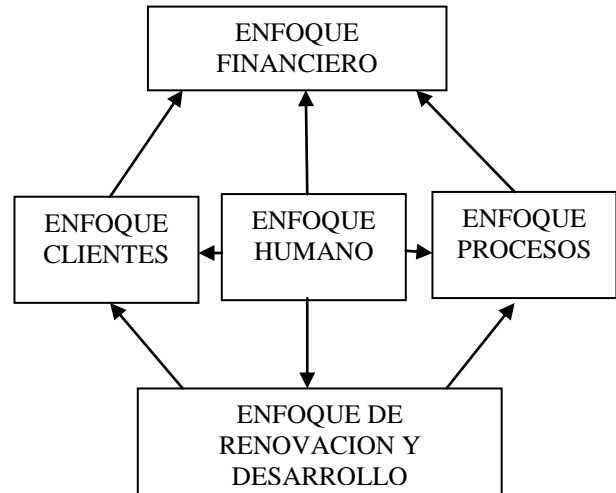


Figura 1. Modelo Navigator de Skandia.

Fuente: *LeifEdvinsson y Michael S. Malone*. El Capital Intelectual. Editorial Norma, 2004

De acuerdo con autores como *Bontis*[2], *Roos* [3], *Viedma Martí*[4], y otros, parece haber un consenso actual sobre la composición del Capital Intelectual en tres dimensiones: Capital Humano, Capital Estructural y Capital Relacional.

El Capital Humano se compone del conocimiento, las habilidades y el talento de los individuos; incorpora las competencias, las actitudes y la agilidad intelectual de las personas para asumir responsabilidades dentro de un entorno tecnológico determinado; permite generar valor y a la vez sirve como fuente de innovación y desarrollo. Desde otra perspectiva, y teniendo en cuenta el proceso interno de cualificación que se da en las empresas, se puede entender el Capital Humano como el resultado lógico de las inversiones realizadas por la empresa en la formación del personal. Por ello, cuando las personas salen de la empresa, también se va con ellos el Capital Humano y se requiere reemplazarlo por alguien superior o igualmente calificado o cualificado. Por su parte, *AnnieBrooking*[5] define el Capital Humano desde la perspectiva de los activos centrados en el individuo, incorporando allí la pericia colectiva, la capacidad creativa, la habilidad para resolver problemas y el liderazgo. *Kaplan y Norton*[6], en el Cuadro de Mando Integral, no incluyen este aspecto de manera explícita sino que de

manera implícita lo asumen dentro de la perspectiva de aprendizaje y crecimiento.

El Capital Estructural es entendido en principio como el conocimiento que la empresa ha desarrollado y que permanece dentro de ella, en su estructura, en sus procesos o en su cultura. En el modelo *Intelect* (*Euroforum*, 1998) el Capital Estructural involucra el conocimiento sistematizado, explícito e interiorizado por la organización, incluyendo las patentes, la tecnología y los sistemas de información. En el modelo del *Balance Scorecard*, el Capital Estructural se incorpora a los procesos internos y a la perspectiva de formación y crecimiento. *Brooking* incorpora el Capital Estructural en dos aspectos: activos de propiedad intelectual (patentes, copyright, derecho sobre diseños, marcas de fábrica, servicios, *know-how*, secretos de fabricación) y activos de infraestructura (tecnologías, metodologías, procesos que garantizan el funcionamiento de la empresa, cultura corporativa, bases de datos, sistemas de gestión).

El Capital Relacional está determinado por las relaciones de la empresa con los clientes, los proveedores, los accionistas, la comunidad, las entidades de control y vigilancia. *Brooking*, incorpora este Capital Relacional en los llamados activos de mercado. La figura 2 nos indica la estructura básica del capital intelectual.

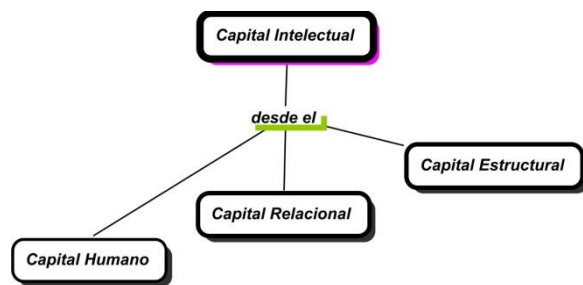


Figura 2. Estructura del capital intelectual.
Fuente: Elaboración propia

Baruch Lev[7], define los intangibles como: “Fuentes de beneficios económicos, que carece de sustancia física o, alternativamente, como todos los elementos de una empresa que existen además de los activos tangibles y monetarios”

Según *Sveiby* [8], las personas son el único agente verdadero en las organizaciones, y son las encargadas de crear tanto la estructura interna (organización) como la estructura externa (imagen).

Sveiby[8], propone tres tipos de indicadores:

- De crecimiento e innovación: recogen el potencial futuro de la empresa.
- De eficiencia: informan hasta qué punto los intangibles son productivos (activos).
- De estabilidad: indican el grado de permanencia de estos activos en la empresa.

Las instituciones de educación superior han construido, desde su origen hasta nuestros días, un alto componente de Capital Intelectual que las ha posicionado ante la sociedad, lo cual se ve reflejado en la formación de sus profesionales.

La Dinámica de Sistemas nos permite realizar análisis de sensibilidad, validación y análisis de políticas orientadas a la concurrencia de los procesos de agregación de valor en las instituciones de educación superior (investigación, extensión, y docencia), además de ser una aproximación a la realidad de lo que declaramos oficialmente, la importancia indiscutible de los tres macroprocesos enunciados y en especial los de investigación y docencia, y la forma como se ve afectado uno de ellos por la inclinación hacia el otro y lo que puede implicar esto en la fijación de políticas o dirección estratégica de las comunidades académicas o en el mantenimiento de la estructura académica de los programas que se ofrecen.

Lo anterior le permite a las directivas fijar frentes o políticas de trabajo, de acuerdo a los planes operativos de las unidades académicas orientados al desarrollo del Plan Estratégico de la Universidad.

Con la Dinámica de Sistemas encontraremos respuestas a inquietudes como las que a continuación describimos:

La investigación ha tomado, en los últimos tiempos un papel significativamente alto en la estructura estratégica de las instituciones de educación superior. Los docentes internos de las instituciones de educación superior deben responder por semana a 40 horas de dedicación exclusiva en actividades de investigación, docencia o extensión, por lo cual surge la inquietud de ¿Cuál es la incidencia en la atención a la docencia, si más del 60% de los equivalentes en tiempo completo que atienden la docencia se dedican a investigación?

La mayor parte de los docentes, en las instituciones de educación superior, han desempeñado labores de docencia que han conllevado a formar buenos profesionales que ahora

lideran o participan en procesos de la industria, por lo cual surge la inquietud de ¿Cómo se ve afectada la producción investigativa, si parte del Capital Intelectual dedicado a investigación, representado en equivalentes tiempo completo, se dedica a labores de docencia?

Dar el paso a convertirse en una institución de educación superior con un alto componente en investigación no se logra en el corto plazo, es necesario generar una estructura administrativa, académica y de capacitación o contratación que aseguren dicha política en una forma incremental, lo cual genera la inquietud de ¿Cómo se vería el desempeño de la docencia y la extensión en el tiempo, si a partir de hoy se desea incrementar cada año en un 10% la participación en investigación, hasta estabilizarla mínimo en un 40%?

Todo esto brinda la posibilidad de analizar varios escenarios, teniendo en cuenta que un escenario no es la realidad futura, sino un medio de representación de esta realidad, destinado a iluminar la acción presente con la luz de los futuros posibles y deseables, tal como lo plantea Godei[9].

Lo anterior requiere estudiar alternativas posibles en la toma de decisiones y sus efectos en el tiempo, dependiendo del alcance de las políticas adoptadas [10], además de tener en cuenta que la buena previsión no es la que se realiza sino la que conduce a la acción, el efecto de anuncio no siempre es un error, sino que puede buscarse para corregir una evolución en un sentido más deseable [9].

Para la comprensión de la dinámica del comportamiento entre los componentes del Capital Intelectual se parte de la figura 2 y el conjunto de apreciaciones que se han dado, es así como se presenta a continuación un diagrama causal [11],[12] que representa dicho comportamiento.

2. HIPÓTESIS

Es posible modelar el Capital Intelectual de una organización usando el marco conceptual y teórico de la Dinámica de Sistemas?

Para dar respuesta a la pregunta anterior se consultó la literatura al respecto y se encontró que Sveiby et al[13], hacen referencia a la construcción de 10 estrategias para la asignación de capacidad en la creación de valor utilizando un modelo en Dinámica de Sistemas. Su trabajo parte de la consideración de tres grupos de activos intangibles y sus relaciones para la determinación del conocimiento de la empresa. Ellos son, la estructura interna, la estructura

externa y las capacidades individuales. Grupos de activos que son consistentes con la definición de los capitales que se ha enunciado en párrafos anteriores, capital relacional, estructural y humano, respectivamente. Dicho modelo fue considerado para el desarrollo de este trabajo.

La figura 3 muestra el conjunto de relaciones y ciclos de realimentación de causalidad y efecto entre las variables que definen el Capital Intelectual.

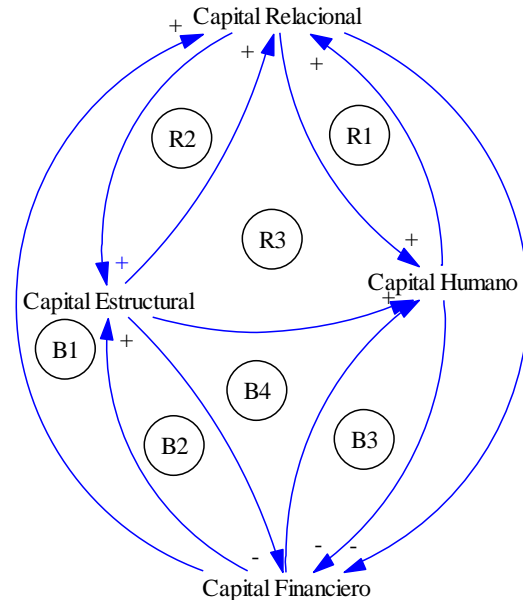


Figura 3. Modelo causal de Capital Intelectual Fuente: Elaboración propia

El ciclo de refuerzo R1 determina el crecimiento del conjunto de conocimientos, habilidades, competencias y capacidades que desarrollan los individuos de la empresa en el fortalecimiento de las relaciones con los clientes, los proveedores, los accionistas y los entes de control y vigilancia, así como a la comunidad en general, dentro de sus estrategias de mercado.

El ciclo de refuerzo R2 define el fortalecimiento de la estructura que brinda soporte a las relaciones de la compañía con su entorno, por ejemplo los sistemas de información, las diferentes tecnologías, metodología y procesos que contribuyen a la eficiencia y calidad de la organización en sus funciones de atención a sus clientes, proveedores, etc..

El ciclo de refuerzo R3 es precisamente el conjunto de relaciones que determinan el comportamiento del capital intelectual de la

organización a través de las relaciones entre sus componentes principales.

El Capital Financiero, considerado como el conjunto de recursos financieros con los que cuenta la organización para invertir en el sostenimiento y crecimiento de su Capital Intelectual limita el crecimiento de los tres componentes principales. Así como B4 balancea el crecimiento del capital humano y estructural, da soporte a la relaciones de la organización con su entorno.

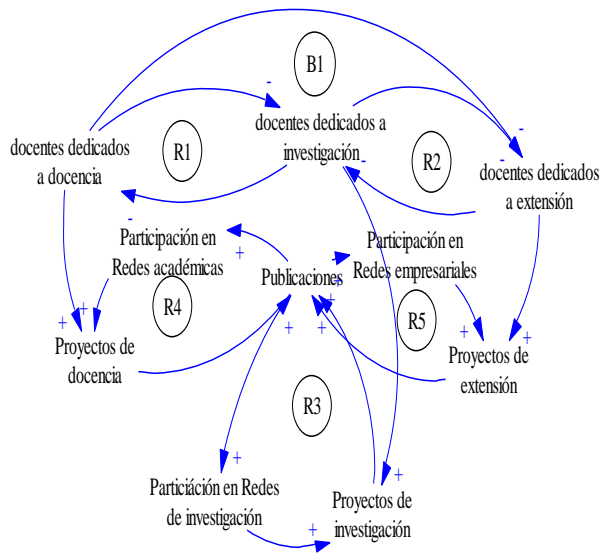


Figura 4. Diagrama causal docente Vs producción

Fuente: *Elaboración propia*

La **figura 4** muestra cómo el balance del crecimiento está limitado por el número de profesores dedicados en cada actividad y su correspondiente tasa de producción. Sin embargo, la lectura de las variables debe hacerse pensando en tiempos completos equivalentes de trabajo del profesor, ya que un profesor normalmente tiene su asignación laboral distribuida en las tres actividades misionales de una universidad que ya se han enunciado.

La valoración del Capital Intelectual de los miembros de una comunidad académica en una institución de educación superior tiene una dependencia directa de las acciones específicas que se desempeñen en ella y esta medición y evaluación se puede hacer a través de indicadores cualitativos y cuantitativos, sobre los cuales, al hacer comparaciones se puede ir llevando la evolución en el tiempo de cada una de las variables básicas del Capital Intelectual.

Para el caso específico de una facultad donde el 60% de la asignación es dedicada a labores de investigación y el 40% a labores de docencia (incluyendo extensión), el comportamiento del flujo de profesores en un intervalo de tiempo estimado en 10 años, se representa como:

$$\text{Profesores}(t) = f(n, m, j, r), \text{ donde:}$$

- n:** docentes nuevos.
- m:** docentes en movilidad.
- j:** docentes jubilados.
- r:** docentes que se retiran.

Su modelación en este intervalo se representa en la **figura 5.**

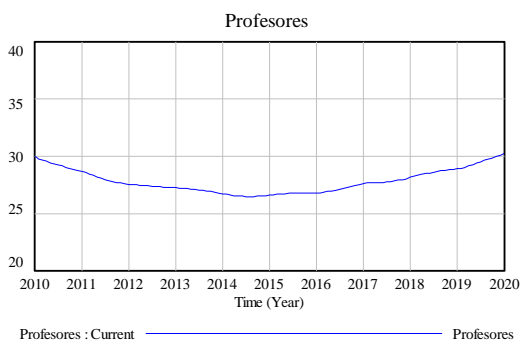


Figura 5. Comportamiento del número de docentes requeridos.

El comportamiento de la variable movilidad de los docentes en el intervalo de tiempo estimado, 10 años, se representa como:

$$\text{Movilidad}(t) = f(r_i, r_o), \text{ donde:}$$

- r_i:** razón de cambio de llegada de los docentes a la facultad cuya estadía es igual o superior a tres meses.
- r_o:** razón de cambio de salida de los docentes a otras universidades o empresas cuya estadía sea igual o superior a tres meses.

Su modelación en el intervalo de tiempo estimado se representa en la **figura 6.**

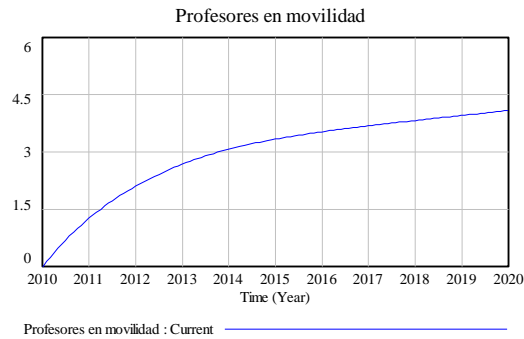


Figura 6. Comportamiento de la movilidad

El comportamiento de la variable jubilación en el intervalo de tiempo estimado, 10 años, se representa como:

$$j_b = f(e, a)$$

e : edad en años.
 a : años de servicio.

Su modelación en el intervalo de tiempo estimado se representa en la **figura 7**.

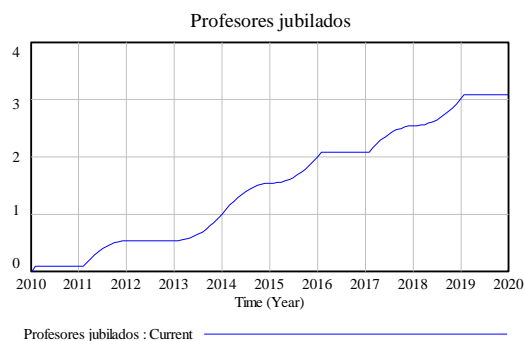


Figura 7. Comportamiento de la variable jubilación.

3. REFERENCIAS

[16] EDVINSSON, Leif y MALONE, Michael. El capital intelectual. Bogotá: Editorial norma, 2004. 311p.
 [17] BONTIS, Nick. National Intellectual Capital Index. A United Nations initiative for the Arab region. Journal of Intellectual Capital Vol. 5 No. 1, 2004 pp. 13-39

[18] ROOS, R. and ROOS, J. (1997) Measuring your Companys Intellectual Performance, Long Range Planning, 30(3):413-426.
 [19] VIEDMA, J. M. (2003) In search of an Intellectual Capital General Theory. Artículo publicado en el "Electronic Journal of Knowledge Management (EJKM)" Vol.1 Issue 2 December 2003 p.p.213-226. ISSN: 1479-4411. EJKM is published by Academic Conferences International Limited Curtis Farm, Kidmore End, Nr Reading RG4 9AY, England.
 [20] BROOKING, Annie. Intellectual Capital. International Thomson Business Press. Berkshire House. ISBN 1-86152-408-0. London. 1998
 [21] KAPLAN, Robert S.; NORTON, David P. Mapas estratégicos. Convirtiendo los activos intangibles en resultados tangibles. Ediciones Gestión 2000. Barcelona. 2004.
 [22] LEV, Baruch. (2003). Intangibles: Medición, gestión e información. España: Ediciones Deusto. 246 p.
 [23] SVEIBY, K.E The Intangible Assets Monitor. Revista de Human Resource and Accounting. Vol. 2, No. 1, pp 73 – 97, 1998
 [24] GODET, M.(1993). De la anticipación a la acción. Manual de prospectiva y estrategia. Alfaomega S.A. Bogotá.
 [25] SMITH R. Mesa O. Dyner I. Jaramillo P. Poveda G. Valencia D. Decisiones con múltiples objetivos e incertidumbre. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2ed.2000.
 [26] DYNER, I. PEÑA, G., ARANGO, S. (2009). Modelamiento para la simulación de sistemas socio-económicos y naturales. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
 [27] STERMAN, J. (2000). Business Dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world. McGraw-Hill. EE UU
 [28] SVEIBY, K.E. The new organizational wealth: managing and measuring knowledge-based assets San Francisco: Berrett-Koehler, 1997.

Acercamiento desde el enfoque sistémico a la problemática de seguridad alimentaria en la ciudad de Medellín: políticas para la superación.

Rapprochement from the systems approach to food security issues in the city of Medellin: policies for success

Juan P. Posada C., Ing. Y Carlos J. Franco C. PhD
Alcaldía de Medellín – Universidad Nacional de Colombia
jposadac@unal.edu.co – cjfranco@unal.edu.co

Resumen: La Seguridad Alimentaria (SA) es una de las problemáticas que afecta diariamente a las pobladores de los países en vías de desarrollo; por la gravedad que conlleva para ellos esta situación, las Naciones Unidas asumieron esta problemática como uno de los Objetivos del Milenio: Erradicar la pobreza extrema y el hambre. Es así como Colombia, y particularmente la ciudad de Medellín, acogieron dicho acuerdo por medio de la implementación de una serie de políticas que buscan generar una situación de Seguridad Alimentaria en la totalidad de su población; pero dada la complejidad y el número de actores involucrados, en la ciudad de Medellín persisten niveles de Inseguridad Alimentaria del orden de 27% y de desnutrición en alrededor del 8% de sus niños. Por lo anterior, esta investigación explora las causas de la problemática desde el componente del acceso económico a los alimentos; estudiando, evaluando y proponiendo, desde un enfoque sistémico y por medio del uso de la Dinámica de Sistemas, las políticas necesarias para mitigar la problemática en la ciudad, considerando las consecuencias que generará el tenerla o no en el mediano y largo plazo.

Palabras Clave: Dinámica de Sistemas, modelamiento, pensamiento sistémico, políticas públicas, seguridad alimentaria.

Abstract: The Food Security is everyday problematic matter that affects the developing countries' population. The United Nations assumed this matter as a seriously issue part of Millennium Development Goal: Eradicated the Extreme Poverty and Hunger. Therefore, Colombia and Medellin

welcomed the agreement by developing a series of policies seek to generate a food security status in the entire population; Even the number of performers involved, it's very complex and Medellin persist with food insecurity levels to the order of 62% and the 8% is children's malnutrition. In consequence, this research explores the food access problem and its causes from the economic factor, doing studies and assessments. The purpose is to propose and evaluate policies to mitigate the city problem and taking into consideration the medium and long term consequence by a systematic approach and through the system dynamics tool.

Keywords: food security, modeling, system dynamics, system thinking, public policy.

1. INTRODUCCIÓN

El termino Seguridad Alimentaria (SA) hizo su aparición en espacios de debate mundial después de la Segunda Guerra Mundial, debido a que la nueva configuración y la proyección del crecimiento acelerado de la población llevaban a suponer que una crisis alimentaria mundial iba ocurrir (Smith, 1998), desde ese entonces el término fue abordado desde muchas perspectivas, pero solo existió un verdadero consenso en torno a él, durante la Cumbre Mundial de Alimentos realizada por los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el año 1996 donde se estableció que la Seguridad Alimentaria se da cuando: “*todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a los alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades energéticas diarias y*

preferencias alimentarias para llevar una vida sana y activa”.

La problemática alimentaria en el mundo ha sido asociada ampliamente a la condición de pobreza que sufren los pobladores de las diferentes regiones, esto debido a que la pobreza ha sido definida como el porcentaje de personas que viven con menos de \$2 dólares diarios (ONU, 2010); aunque las mediciones para este aspecto pueden ser tratadas de manera relativa de acuerdo a la realidad de cada país, por ejemplo en Colombia y América Latina es utilizado el método de la Canasta Normativa para la estimación de la población en situación de pobreza (Castaño, 2007); en ese sentido la relación entre la situación de pobreza y la problemática alimentaria ocurre cuando los escasos recursos deben ser destinados para la satisfacción de sus necesidades básicas, incluyendo entre ellas el requerimiento calórico diario (Shane et al. 2000).

Es así como la Seguridad Alimentaria ha sido abordada, a nivel país, desde diferentes enfoques, partiendo de la disponibilidad de alimentos, pasando por el acceso a los mismos que tiene la población, lo cual se convierte en garantía del consumo permanente y suficiente (CONPES, 2008). En este contexto Huffman (2008), Cauceiro (2007), Abdulai (2004), Smith (1998), encontraron que el acceso a los alimentos por parte de la población se constituye en un aspecto determinante para garantizar buenos niveles de Seguridad Alimentaria, ya que se han logrado establecer relaciones significativas entre el consumo de calorías, el nivel de ingresos y la porción de ingresos que se destinan a la adquisición de los mismos. Estos aspectos pueden facilitar la constitución y perpetuación de círculos de pobreza que impiden la superación de la situación, entre otros, por el bajo desarrollo cerebral que produce el poseer niveles de nutrición inadecuados, generando esto implicaciones en lo correspondiente a los niveles de ingreso mínimo para cubrir las necesidades básicas. (Villegas al. 2009; Garibay et al, 2008; Plaza et al. 2001)

De acuerdo a los enfoques descritos, este artículo abordara el tema de la Seguridad Alimentaria desde el acceso económico que poseen los habitantes de la ciudad de Medellín a los alimentos, tratando el tema desde el enfoque sistémico por medio del cual será presentada la hipótesis dinámica que guiará el proceso de modelado y simulación, utilizando la Dinámica de Sistemas como metodología.

El artículo se desarrollará así: en la siguiente sección se abordará la problemática de la SA en Colombia y la ciudad de Medellín, seguida de ésta, en la sección

tres, se tratarán las acciones y políticas implementadas en Colombia y Medellín que corresponde a la Seguridad Alimentaria, en la cuarta sección se sustentará el ¿por qué? el enfoque sistémico y la Dinámica de Sistemas son herramientas pertinentes para realizar acercamientos al problema, en la quinta sección se abordarán las hipótesis dinámicas sobre las cuales está soportado el modelo y en la sección final se presentarán algunos resultados y conclusiones preliminares.

2. EL PROBLEMA DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN COLOMBIA Y MEDELLÍN

En el mundo 1.400 millones de personas viven por debajo de la línea de la pobreza extrema (ONU, 2009), por esta razón, en el año 2000 la Organización de las Naciones Unidas se dio a la tarea de convocar a los países del mundo con el fin de celebrar una serie de acuerdos llamados: los Objetivos del Milenio, planteando como uno de ellos la erradicación de la pobreza extrema y el hambre, como meta para el año 2015 el objetivo se planteó reducir a la mitad la cantidad de personas en el mundo cuyos ingresos son inferiores a \$1,25 dólares al día. (ONU, 2010)

Colombia contribuye a la Inseguridad Alimentaria Mundial, manteniendo al 46% de su población urbana y el 70% de la población rural por debajo de la línea de la pobreza, lo cual indica que de acuerdo a la forma como es calculado este indicador en Colombia, estas personas no cuentan con los ingresos suficientes para lograr su requerimiento calórico mínimo diario (Castaño, 2007), adicionalmente la Encuesta Nacional del Estado Nutricional en Colombia encontró que el 36,5% de la población urbana y el 58,2 % de la población rural del país se encontraban en situación de inseguridad alimentaria (ICBF, 2006).

La magnitud de la problemática en la ciudad de Medellín no es menor, ya que el porcentaje de la población que se encuentra por debajo de la línea de la pobreza alcanza el 46%, mientras que el porcentaje de la población que se encuentra por debajo de la línea de indigencia o pobreza extrema alcanza el 8,5% (Castaño, 2007), además, la porción de la población en la ciudad de Medellín que fue hallada en situación de Inseguridad Alimentaria es del orden del 27% del total de la población. Estas cifras indican que de acuerdo a la población de la ciudad, en Medellín persisten 661.500 personas en situación de inseguridad alimentaria, esta situación se torna aún

más problemática cuando a causa de ella el 37,6% de los niños de 0 a 10 años de edad se encuentra en riesgo de desnutrición crónica y cerca del 11,6% presenta retraso en el crecimiento (Gobernación de Antioquia, 2005).

3. POLÍTICAS IMPLEMENTADAS EN COLOMBIA Y LA CIUDAD DE MEDELLÍN

Antes de la declaración de los Objetivos del Milenio; Colombia se propuso introducir una serie de políticas públicas por medio de las cuales se crea un marco regulatorio que permita la superación del hambre y la Inseguridad Alimentaria en el país, para esto se realizó la Formulación del Plan Nacional de Alimentación y Nutrición PNAN (ICBF, 2006), posteriormente y en cumplimiento de la declaración de la ONU en el año 2008, el Departamento Nacional de Planeación emite el Conpes Social 113, a través del cual se establece la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional - PSAN-, esta política parte del derecho con que cuenta toda persona a no poseer hambre y se propone como objetivo general: *“Garantizar que toda la población colombiana disponga, acceda y consuma alimentos de manera permanente y oportuna, en suficiente cantidad, variedad, calidad e inocuidad”* (CONPES, 2008).

El requerimiento mínimo calórico para Colombia, estimado por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar varía de acuerdo a la edad y el género; para niños entre los 0 y los 11 meses se encuentra entre las 490 y 960 KCal, para los niños entre los 1 y 9 años de edad se encuentra entre los 1.040 y las 1.900 Kcal y para las personas entre 10 en adelante está entre las 2.270 y 3.000 Kcal. (ICBF, 1988).

Por su parte, la ciudad Medellín ha desarrollado tanto una plataforma política para garantizar la Seguridad Alimentaria de sus ciudadanos, a través de la aprobación del acuerdo municipal 104 de 2005, por medio del cual el municipio establece la Política Pública de Seguridad y Soberanía Alimentaria y Nutricional en Medellín (Concejo de Medellín, 2005), adicionalmente y como implementación de dicha política, la ciudad posee una serie de programas diseñados con el fin de contribuir a la superación de la Inseguridad Alimentaria y el hambre desde la focalización de su intervención hacia la atención de las poblaciones más vulnerables. Estos proyectos se clasifican en la Tabla 1 y están orientadas tanto al cumplimiento de la política nacional, como municipal.

Tabla 1. Programas de Complementación Alimentaria – Alcaldía de Medellín. Tomada de las pliegos de condiciones de los proyectos licitados por la Alcaldía de Medellín en el año 2010.

PROYECTO	POBLACIÓN BENEFICIADA	POBLACIÓN OBJETIVO	CONTRIBUCIÓN CALÓRICA
Restaurantes Escolares.	180.439	Niños y Jóvenes estudiantes de establecimientos oficiales y de cobertura de la alcaldía de Medellín.	23% - 38%
Vaso de Leche Escolar.	137.167	Niños y Jóvenes estudiantes de establecimientos oficiales y de cobertura de la alcaldía de Medellín.	10% - 15%
Buen Comienzo.	61.513	Niños y Niñas entre 6 meses y hasta los 6 años de los niveles 1, 2 y 3 del Sisbén.	34% - 75%
Mujer Gestante y Lactante.	8.000	Mujeres Gestantes desde el primer trimestre y hasta los 6 meses de lactancia del nivel de Sisbén 1, 2 y 3.	10% - 15%
Complementación Alimentaria Adulto Mayor.	84.075	Población adulta mayor (> 65 años) de niveles 1 y 2 del Sisbén.	No aplica – paquete alimentario

4. EL ENFOQUE SISTÉMICO Y LA DINÁMICA DE SISTEMAS PARA EL ACERCAMIENTO AL PROBLEMA

Los problemas de complejidad dinámica son identificados por contar con características específicas como: la existencia de una distancia en el tiempo entre las causas y las consecuencias del

problema, la existencia de realimentación entre sus variables, la no linealidad en las relaciones de las variables involucradas, la resistencia de las acciones a implementarse en ellos, entre otras; estas mismas características son parte inherente de los sistemas sociales (Sterman, 2000; Forrester, 1994). El problema de la Seguridad Alimentaria no es la excepción, debido a que la desnutrición se manifiesta como efecto de los círculos de pobreza, los cuales son reforzados por la incapacidad por parte de los hogares de obtener ingresos suficientes para la adquisición de alimentos (Aromolaran, 2004; Villegas et al, 2009). El retardo entre los efectos que surten las acciones implementadas para afectar la nutrición humana se observa solo con el avance de los ciclos vitales, es así como, por ejemplo, en el mediano plazo se percibe por medio del retraso en el crecimiento en los niños y en el largo plazo condicionando la actividad de la persona en su vida adulta (Villegas et al, 2009; Garibay et al, 2008).

Por lo anterior y por las implicaciones que tiene sobre los sistemas reales la implementación de políticas y acciones sobre éstos sin antes ser experimentadas, la modelación se considera una importante herramienta para la exploración previa de las acciones que se tomarán sobre un sistema (Pidd, 1999), evitando incurrir en altos costos y errores. De esta manera el aprendizaje sobre el sistema y el problema modelado, ocurre en una fracción de tiempo muy inferior con respecto al aprendizaje en los sistemas reales, esto se da a través de la simulación de posibles comportamientos (Schaffernicht, 2006).

Los acercamientos realizados desde la Dinámica de Sistemas a la problemática de la Seguridad Alimentaria a nivel mundial se han inclinado principalmente por el componente de la disponibilidad de los alimentos, realizando énfasis sobre las capacidades que tienen o deben tener los países para garantizar el abastecimiento, de tal manera que cumpla los requerimientos calóricos para sus poblaciones a través de la producción y destinación de tierras para la agricultura, en un segundo plano está el enfoque al problema desde la accesibilidad, considerando círculos de pobreza y subdesarrollo a partir de los cuales se generan la Inseguridad Alimentaria, por último, existen dos componentes a los que se les da menor relevancia: los procesos metabólicos del cuerpo humano a través de los cuales se dan los procesos de nutrición y el modelamiento de la cadena de abastecimiento del sector alimentario. Esta clasificación es presentada en la Tabla 2.

Por medio de la revisión, se identificó la ausencia de investigaciones en el ámbito local o regional, para el caso de la división política de Colombia no fueron encontradas publicaciones que abordaran el problema desde el enfoque de ciudad que permitieran evaluar las posibilidades de la autoridad responsable como protagonista principal de implementación de la política del orden nacional.

5. ENFOQUE DEL MODELO: HIPÓTESIS DINÁMICA DEL PROBLEMA DE SEGURIDAD ALIMENTARIA EN MEDELLÍN

Modelos	Disponibilidad	Accesibilidad	Aprov. Biológico	Enfoque ciudad	Evaluación de políticas
Giraldo et al. (2008)	X	X			X
Serrano y Sotaquirá (2005)	X	X			X
Georgiadis et al. (2004).	X				
Quinn (2002).	X	X			X
Meadows (2002)	X				X
Gohara (2001).	X				
Saeed (2000).		X			X
Mineguishi y Thiel (2000)	X				
Futami y Kashiwazaki (2000)			X		
Bach et al. (1992).	X				
Saeed, et al. (1983).		X			X

Abordando el problema desde la accesibilidad económica a los alimentos, como se muestra en la Figura 1, se analizará a continuación cada uno de los ciclos de realimentación involucrados en el diagrama causal de la problemática.

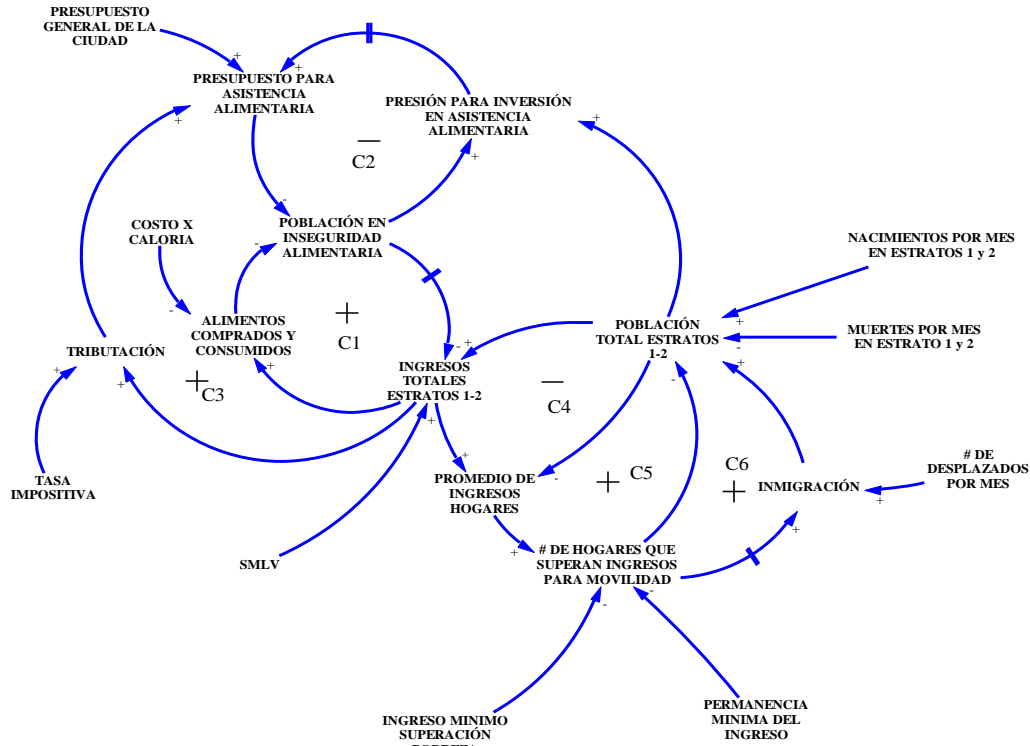


Figura 1. Diagrama Causal problema de acceso a los alimentos – Seguridad Alimentaria en Medellín

5.1. Ciclo de la Pobreza – C1–

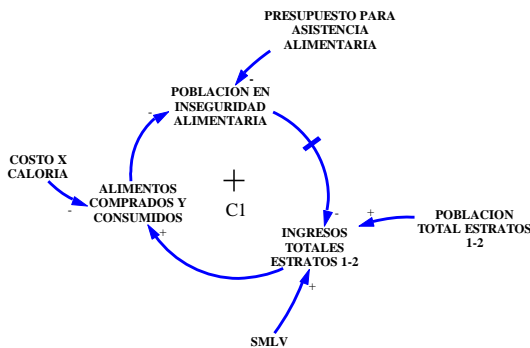


Figura 2. Ciclo de la Pobreza

Como se muestra en la Figura 2 y partiendo del requerimiento calórico mínimo diario, la población que no alcanza a la adquisición de los alimentos suficientes para cumplir dicho requerimiento, se constituye en la masa crítica de personas en Inseguridad Alimentaria de la ciudad, esta situación se produce, entre otras, por tres razones: la inestabilidad de los precios de los alimentos, la falta de capacidad económica de los hogares y la porción del ingreso que es destinado para la adquisición de alimentos (Myers, 2006 ; Balk et al, 2005; Morris, 2001), la capacidad económica es determinada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística a través del Salario Mínimo Legal Vigente en el país (Castaño, 2007).

La inseguridad alimentaria recurrente en el tiempo genera desnutrición en las personas y sobre todo en los niños que no alcanzan día a día el requerimiento calórico mínimo (Garibay et al, 2008; Muller y Krawinkel, 2005), esta circunstancia ocasionará, para el caso de las personas adultas, menores niveles de rendimiento laboral e intelectual que las personas que cuentan con una nutrición adecuada (Villegas et al, 2009; Plaza, 2001).

Para el caso de Medellín, el nivel de educación de una persona determina el nivel de ingreso al que podrá aspirar, esto es probado por medio del análisis de la Encuesta de Calidad de Vida, en la cual existe una relación entre el grado de escolaridad presente en cada estrato y los ingresos percibidos. (Alcaldía de Medellín, 2009).

5.2. Ciclo de Intervención Estatal – C2 –

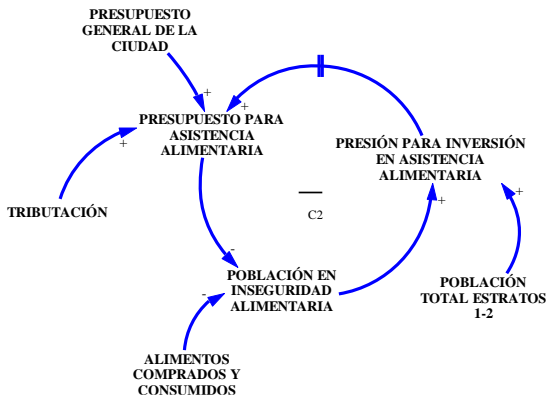


Figura 3. Ciclo de Intervención Estatal

En contraposición, la función del Estado es velar porque las personas no padezcan hambre, para ello se implementan las políticas ya descritas en la sección 3 y que son modeladas en la Figura 3; éstas buscan tanto garantizar la ingesta calórica mínima, como también generar permanencia en el sistema educativo, logrando así la compensación del ciclo de pobreza. La presión para realizar mayores inversiones en asistencia alimentaria viene dada tanto por los estudios realizados en los cuales se evalúa la situación, como también por la participación de las comunidades en la construcción del Plan de Desarrollo Municipal. (Alcaldía de Medellín, 2008)

Medellín para el año 2010 dispuso de un presupuesto de 3,173 billones de pesos, de los cuales 84.565 millones fueron destinados para asistencia alimentaria directa (Alcaldía de Medellín, 2009).

5.3. Ciclo de tributación – C3 –

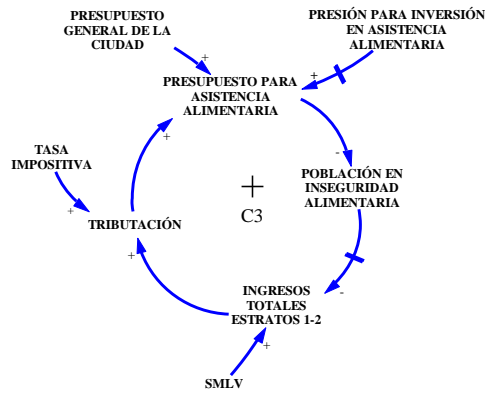


Figura 4. Ciclo de Tributación

La relación existente entre los estratos económicos bajos y el nivel de tributación es tenue, ya que de acuerdo a la estructura tributaria del país, los impuestos correspondientes a los individuos, producto de su actividad económica, son recaudados y transferidos a las regiones desde el nivel central, lo cual impide la implementación de políticas del orden municipal que aumenten estos tributos y que además se reflejen sobre el presupuesto municipal; los impuestos del orden municipal, que constituyen el presupuesto de este ente territorial, son el Impuesto de Renta y el Impuesto Predial, estos representan alrededor de un 30% del presupuesto municipal. (Alcaldía de Medellín, 2009; Concejo de Medellín, 2003). Sin embargo existen dinámicas de desarrollo económico que inducen a la generación de microempresas, las cuales incrementan el nivel de tributación por el pago de impuesto, tal como se presenta en la Figura 4.

5.4. Ciclo de Superación por Políticas Públicas (PP) – C4 –

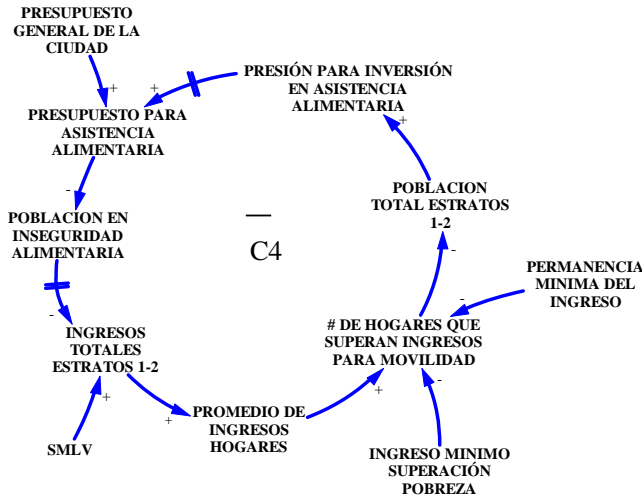


Figura 5. Ciclo de Superación PP

Las políticas públicas se configuran de tal manera que operen a través del principio de la palanca buscando con acciones focalizadas, por ejemplo la asistencia alimentaria entregada a la niñez, generar los resultados planeados de manera permanente y con poco esfuerzo en el sistema (Senge, 1990). En la problemática modelada en la Figura 5, la política pública municipal de asistencia alimentaria busca generar la reducción de la cantidad de personas en inseguridad alimentaria, consiguiendo así que las personas logren alcanzar buenos niveles de educación y de ingresos consiguiendo movilidad entre los estratos económicos y la superación de la situación de pobreza que genera el déficit de alimentos en la población.

5.5. Ciclo de superación por dinámicas económicas – C5 –



Figura 6. Ciclo de Superación Dinámicas económicas
Tal como se presenta en la Figura 6, la superación de la inseguridad alimentaria y la pobreza no solo puede

ocurrir por acción del Estado a través de las políticas asistenciales implementadas, sino que además existen dinámicas económicas a través de las cuales se incrementan los ingresos de la población, consiguiendo así la movilidad social de los hogares hacia otros estratos económicos o niveles de ingreso, logrando así la disminución de la población que está en situación de vulnerabilidad.

5.6. Ciclo de compensación de la superación – C6 –

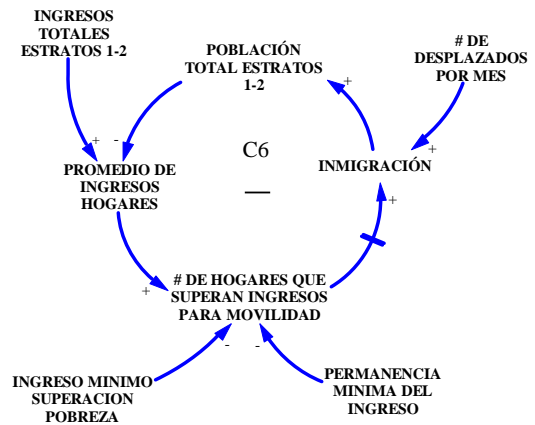


Figura 7. Ciclo de Compensación a la superación.

La superación de la situación de pobreza o inseguridad alimentaria posee un ciclo de compensación, Figura 7, que impide que estas dinámicas continúen; dos de las razones que ocasionan esta compensación son: lo atractivo de los territorios que implementan políticas públicas exitosas, ocasionando así la migración de personas que perciben el bienestar que se genera en ellos, esta atractividad es generada por la implementación de políticas contra-intuitivas (Forrester, 1969) y, para el caso de Colombia, las dinámicas de desplazamiento por causa de la violencia, que ocasionaron que en la década comprendida entre el 1998 y 2008 se desplazaran alrededor de 145.000 personas hacia la ciudad desde las zonas rurales del país (Acción Social, 2010)

6. RESULTADOS PRELIMINARES

Se presentan a continuación resultados preliminares de la investigación obtenidos de realizar corridas preliminares del modelo inicial de simulación de las problemáticas presentadas en el diagrama causal. En dichas corridas se analizan inicialmente dos tipos de políticas: las asistenciales, orientadas a la mitigación de la problemática y las educativas, encaminadas a la

generación de sostenibilidad y superación por medio del mejoramiento de los ingresos de la población en situación vulnerable.

6.1. Análisis de Políticas Asistenciales

Las políticas en asistencia alimentaria buscan contribuir al cumplimiento del requerimiento calórico mínimo diario, de acuerdo a la simulación preliminar realizada y presentada en la Figura 8, se puede analizar que la política asistencial de la ciudad no logra la superación de la situación de la inseguridad alimentaria sosteniendo los índices en los valores que posee la ciudad en la actualidad, por lo que es necesaria la combinación de otra serie de políticas.

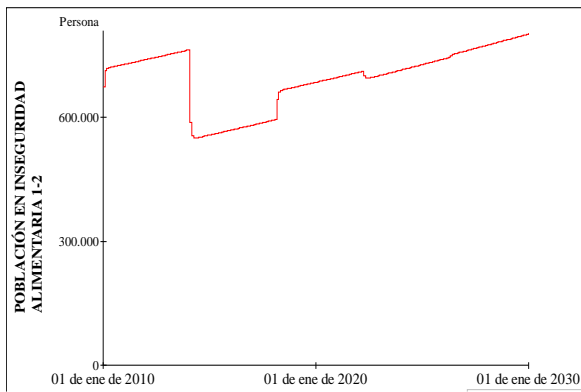


Figura 8. Comportamiento SA – Política

6.2. Análisis de Políticas educativas

Una política de universalización de la educación primaria y secundaria que permita incrementar el grado de empleabilidad de las personas que habitan la ciudad, facilita la disminución de la porción de la población que se encuentra en inseguridad alimentaria, tal como lo muestra la Figura 9. Esta política fue evaluada ante un incremento de \$130.000 en el ingreso promedio de las personas que habitan los estratos 1 y 2 e incrementando el nivel de empleo en los estratos 1 y 2 del 34% al 45%. En la Figura 8 se observa una disminución abrupta en el momento inicial debido a que se considera el incremento de los ingresos desde el instante inicial.

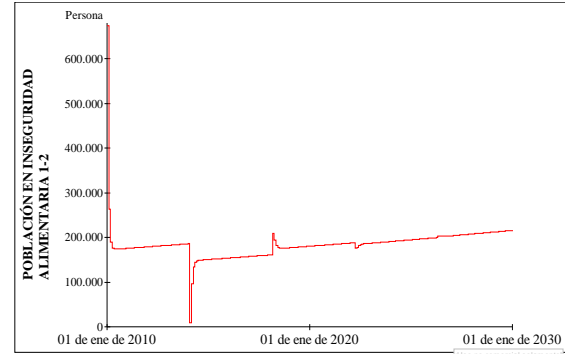


Figura 9. Comportamiento SA – Política

7. CONCLUSIONES PRELIMINARES

La universalización de la educación, garantizando mejores condiciones de empleabilidad para población y mayores niveles de inversión en la ciudad, se constituye en una política de superación de la situación de inseguridad alimentaria; por otro lado, las políticas de asistencia alimentaria, si bien no contribuyen directamente a la superación, son acciones indispensables para mitigar el hambre y garantizar las condiciones para que las políticas educativas surtan efecto.

8. REFERENCIAS.

- ABDULAI, A., & AUBERT, D. (2004). Nonparametric and parametric analysis of calorie consumption in Tanzania. *Food Policy*, 29, 113-129.
- Acción Social. (2010). Estadística Población Desplazada Incluida en el RUPD. Disponible en: [http://www.accionsocial.gov.co/Estadisticas/SI_266_Informacion%20PAG%20WEB%20\(4-08_2010\)%20ver%202.htm](http://www.accionsocial.gov.co/Estadisticas/SI_266_Informacion%20PAG%20WEB%20(4-08_2010)%20ver%202.htm) [Citado 20 de septiembre de 2010].
- Alcaldía de Medellín (2008). Plan de Desarrollo 2008 -2010: Medellín es solidaria y competitiva.
- Alcaldía de Medellín (2009). Gaceta Oficial No. 3588: Presupuesto Oficial 2010 Municipio de Medellín
- Alcaldía de Medellín. (2009). Encuesta de Calidad de Vida 2007. Departamento Municipal de Planeación.
- AROMOLARAN, A. B. (2004). Household income, womens income share and food calorie

- intake in South Western Nigeria. *Food Policy*, 29(27), 507-530.
- BACH, N.L., & SAEED, K. (1992). Food self-sufficiency in Vietnam: a search for a viable solution. *System Dynamics Review*, 8(2), 129-148.
 - BALK, D., Storeygard, A., Levy, M., Gaskell, J., Sharma, M., Flor, R., et al. (2005). Child hunger in the developing world: An analysis of environmental and social correlates. *Food Policy*, 30, 584-611.
 - CASTAÑO, H. L., & CASTAÑO, H. L. (2007). Pobreza y desigualdad en Colombia, diagnóstico y estrategias. Departamento Administrativo de Planeación.
 - Concejo de Medellín. (2003). Acuerdo Municipal 053. Por medio del cual se adopta el Estatuto Tributario, para el Municipio de Medellín.
 - Concejo de Medellín (2005). Acuerdo Municipal 104 de 2005. Por medio del cual se establece la Política de Seguridad y Soberanía Alimentaria para el Municipio de Medellín http://www.concejodemedellin.gov.co/concejo/concejo/index.php?sub_cat=23. [Citado el 1 de Septiembre de 2010].
 - Concejo de Medellín (2008). Acuerdo Municipal 67 de 2008: Estatuto tributario de la ciudad de Medellín. Disponible en: <http://www.medellin.gov.co/irj/portal/ciudadanos?NavigationTarget=navurl://efa7cc6bd0c1d46b3c0ed79a003e6677> [Citado el 1 de Septiembre de 2010].
 - CONPES. (2008). Documento Conpes Social 113: Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN). Departamento Nacional de Planeación.
 - COUCEIRO, M. E. (2007). La alimentación como un tiempo de la nutrición, su disponibilidad y accesibilidad económica. *Media*, 33(3), 1-12.
 - FORRESTER, J. W. (1969). *Urban Dynamics*. Productivity Press
 - FORRESTER, J. W. (1994). *System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR*. *System Dynamics Review*, 10(2), 1-14.
 - FUTAMI J., KASHIWAZAKI, H. (2002). Data Quality Control and Improvement of Indirect Human Calorimeter by System Dynamics Approach. *Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society*, Palermo, Italia.
 - GARIBAY, E. M., ÁNGEL, M., ORTEGA, O., VELARDE, E. R., & RODRÍGUEZ, F. N. (2008). Factores de riesgo de retraso en el crecimiento linear en niños de 12 a 120 meses de edad en Arandas, Jalisco, México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58, 336-342.
 - GEORGIADIS, P. et al. (2004). A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains. *Journal of Food Engineering*, 70 351-364.
 - GIRALDO, D. P., Betancur, M. J., & Arango, S. (2008). Food Security in Development Countries: A systemic perspective. *Technology*, 1-15.
 - Gobernación de Antioquia. (2005). Perfil nutricional alimentario de hogares urbanos de la ciudad de Medellín. Universidad de Antioquia.
 - GOHARA, R. (2001). A System Dynamics Model for Estimation of Future World Food Production Capacity. Unpublished Thesis (M.S.) University of New Hampshire.
 - HUFFMAN, S. K. (2008). Food Assistance Programs and Outcomes in the Context of Welfare Reform n. *Social Science*, 89(1).
 - ICBF. (1988). Recomendaciones de consumo diario de calorías y nutrientes para la población colombiana. Disponible en: <https://www.icbf.gov.co/icbf/directorio/portel/libreria/pdf/tabla-recomenda.pdf> [Citado 30 de Agosto de 2010].
 - ICBF. (2006). Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia. Disponible en: <http://www.icbf.gov.co/icbf/directorio/portel/libreria/pdf/1ENSINLIBROCOMPLETO.pdf> [Citado 29 de Agosto de 2010]
 - MEADOWS, D. (2002). Living lightly and inconsistently on the land. *System Dynamics Review*, 18(2), 15-17.
 - MINEGISHI, S., & Thiel, D. (2000). System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. *Simulation Practice and Theory*, 8, 321-339.

- MORRIS, S. S. (2001). Targeting urban malnutrition : a multi-city analysis of the spatial distribution of childhood nutritional status. *Food Policy*, 26, 49-64.
- MULLER, O., & Krawinkel, M. (2005). Malnutrition and health in developing countries. *Africa, CMAJ*, 73(3), 279 - 286.
- MYERS, R. J. (2006). On the costs of food price fluctuations in low-income countries. *Food Policy*, 31, 288-301.
- ONU (2000), Nosotros los pueblos, la función de las Naciones Unidas. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/milenio/sg/report/full.htm> [Citado el 30 de agosto de 2010].
- ONU. (2009). Objetivos de Desarrollo del Milenio: Informe 2009. Disponible en: http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/pdf/M DG_Report_2009_SP_r3.pdf [Citado 29 de agosto de 2010].
- PLAZA, B. L., BRITO, N. I., Torrejón, H. P., & Gloor, V. C. (2001). Algunas consideraciones sobre el impacto de la desnutrición en el desarrollo cerebral, inteligencia y rendimiento escolar. *In Vivo*, 51, 64 – 71.
- PIDD, M. (1999). Just Modeling Through: A Rough Guide to. *Interfaces*, 1999(April), 118-132.
- QUINN, P. M., (2002). Nation State Food Security: A Simulation of Food Production, Population Consumption, and Sustainable Development. Paper presented at the Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society, Palermo, Italy.
- Saeed, K., Satter, M. A., & Singh, G. (1983). Rice Crop Production Policies and Food Supply in Bangladesh. Paper presented at the International System Dynamics Conference, Chestnut Hill, MA.
- SAEED, K. (2000). Defining Developmental Problems for System Dynamics Modeling: An Experiential Learning Approach. *Social Science and Policy Studies Department*. Worcester Polytechnic Institute. USA.
- SCHAFFERNICHT, M. (2006). Detecting and monitoring change in models. *System Dynamics Review*, 22(1), 73-88.
- SEIPEL, Michael M. O. (1999). Social Consequences of Malnutrition. *Social Workers*, Vol 44, Number 5, 416 – 425.
- SENGE, Peter. (1990). *Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*.
- SERRANO, M.; SOTAQUIRA, R. (2005). Revealing the Colombian Government's Coherence in the Design of Food Security Policies. Paper presented at the Proceedings of the 23th International Conference of the System Dynamics Society, Boston, United State of America.
- SHANE, M.; TEIGEN, L., GEHLHAR, M., & ROE, T. (2000). Economic growth and world food insecurity : a parametric approach &. *Food Policy*, 25, 297-315.
- SMITH, D. W., & SMITH, D. W. (1998). Urban food systems and the poor in developing countries. *Geographical*, 23(2), 207-219.
- STERMAN, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. New York: McGraw-Hill.
- VILLEGAS, S., IVANOVIC, R., & IVANOVIC, D. (2009). Peso de nacimiento y posterior estado nutricional, desarrollo cognitivo y actividad ocupacional: una revisión crítica. *Children*, 59(Cc), 369-377.

9. CURRÍCULUM

Juan Pablo Posada C: Candidato a Magister en Ingeniería de Sistemas – Universidad Nacional de Colombia, Especialista en Sistemas – Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero de Producción - Universidad EAFIT, Analista Financiero Alcaldía de Medellín - Secretaría de Bienestar Social.

Carlos Jaime Franco C: Doctor en Ingeniería Área de Sistemas Energéticos - Universidad Nacional de Colombia, Magister en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Ingeniero Civil – Universidad Nacional de Colombia.

Efectos de la disponibilidad de alimentos sobre la Seguridad Alimentaria nacional

Food availability effects on national Food Security

Diana P. Giraldo¹, PhD(c); Manuel J. Betancur², PhD; Santiago Arango³, PhD

¹ Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. Email: dianap.giraldo@upb.edu.co
² Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín Colombia. Email: manuel.betancur@upb.edu.co
³ Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Email: sarango@unal.edu.co

Resumen: La inseguridad alimentaria es un problema que afecta a la población mundial, principalmente en los países en desarrollo. Dada la interacción de diversas áreas, el proceso de toma de decisiones para combatirla se ha tornado complejo. Este artículo explora el subsistema de la disponibilidad alimentaria de un país, como uno de los limitantes para satisfacer las necesidades básicas nutricionales. Mediante la Dinámica de Sistemas, se logra la comprensión de su estructura para la evaluación de políticas que ayuden a aliviar el problema.

Palabras clave: disponibilidad alimentaria, factores de producción, necesidades alimentarias, políticas, seguridad alimentaria.

Abstract: The food insecurity is a problem that affects population worldwide, mainly in developing countries. Due to the multiple interactions, the process of decision making is becoming increasingly complex. This research explores the food availability system of a country, as a constraint to meet the basic food needs. Through System Dynamics, it is possible to understand its structure and effects of policies to help alleviate the problem.

Keywords: food availability, food needs, food security, politics, production factors.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace cuatro décadas se ha enfocado la atención en el mundo, y en especial en los países en

desarrollo, en la alta proporción de personas que sufren de hambre y subnutrición. Según el último informe publicado por *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) más de 1.020 millones de personas carecen de Seguridad Alimentaria (SA)[1], y en Colombia más de 6 millones [2] [3], cifra que ha venido en aumento desde el periodo 1995-97. Aunque en la década de 1980 y a principios de la de 1990 se presentaron significativos avances en la reducción del hambre, ésta fue más lenta de lo necesario para cumplir con la meta de reducción del hambre establecida en el primer Objetivo de Desarrollo del Milenio.

El fenómeno del hambre no sólo aparece en una sociedad como resultado de una calamidad natural, sino también como efecto del surgimiento de una retroalimentación de mecanismos que crean una tendencia en el sistema, moviéndolo hacia una condición de decadencia o desequilibrio [4]. Lo anterior hace que el análisis y la intervención en la SA nacional sean reconocidos como un asunto complejo debido a la cantidad de interacciones presentes en el sistema [5].

El subsistema de disponibilidad de alimentos es identificado como un determinante clave para garantizar la SA a una población. Uno de los asuntos que se pretende estudiar en esta investigación, relaciona la capacidad de las tierras para producir alimentos suficientes para una demanda creciente, y satisfacer los requerimientos mínimos nutricionales de una población. Por lo anterior, se desarrolla un modelo de simulación en Dinámica de Sistemas, con el fin de comprender mejor el problema y realizar análisis de políticas. Aspectos relacionados con la

utilización de los factores de producción y la productividad son tenidos en cuenta.

En la Sección 2 del artículo se muestra el estado actual de la disponibilidad alimentaria en Colombia. En la Sección 3 se describe el planteamiento del problema. En la Sección 4 se presenta una aproximación al modelo, y se describen los requerimientos metodológicos y supuestos del modelo. En la Sección 5 se presentan los resultados y conclusiones.

2. PRODUCCIÓN ALIMENTARIA EN COLOMBIA

Según la Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia (ENSIN), la prevalencia de inseguridad alimentaria en Colombia es del 40.8% de los hogares [3]. Esta prevalencia está relacionada directamente con dos causas directas como son: la inestabilidad de la oferta de alimentos de la canasta básica y limitaciones para acceder a los alimentos básicos.

Al analizar el comportamiento de la disponibilidad interna de los alimentos, se observa una marcada fluctuación de la oferta de alimentos, medida en términos de volúmenes de producción más importaciones.

En la **Figura 1** se muestra las fluctuaciones de la oferta agroalimentaria en Colombia entre 1998-2008.

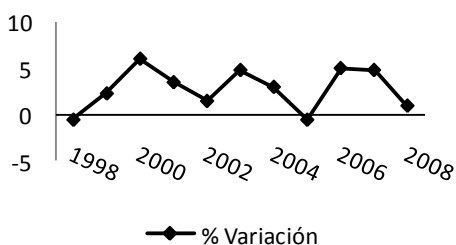


Figura 1. Fluctuación en la oferta agroalimentaria

A nivel agregado, la disponibilidad de alimentos en Colombia registra un buen grado de autosuficiencia, exceptuando los cereales, dado que el consumo nacional es mayor de lo que se produce. En términos per cápita, el consumo de alimentos se ha venido incrementando sustancialmente en los últimos diez años, de 1,6 kg/día en 1999 se pasó a 2,0 kg/día en 2008. Como se observa en la Tabla 1, entre 2002 y 2008 el incremento de las importaciones colombianas ha sido de 33%, al pasar de 6 millones de toneladas en 2002 a 7,9 millones en 2008. Lo anterior debido a

que la producción creció por debajo del consumo interno, es decir, de 15% frente a 33%, respectivamente.

En la **Tabla 1** se presentan los resultados del balance agroalimentario del país entre 2002-2008.

Tabla 1. Balance agroalimentario nacional

		Millones de toneladas						
Total nacional	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Producción	24.8	26.5	27.2	26.4	27.1	28.2	28.6	
Importaciones	6	5.7	6	6.2	7.5	7.9	7.9	
Exportaciones	4.1	4.3	4.5	4.6	4.3	4.3	4.1	
Consumo aparente	26.7	27.9	28.7	28	30.3	31.8	32.4	
Autosuficiencia	93%	95%	95%	94%	89%	89%	88%	

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Dirección de Política Sectorial.

El incremento en las importaciones de Colombia se ha dado debido al grupo de los cereales, básicamente por trigo y maíz, al pasar de 3,6 millones de toneladas a 5,2 millones entre 2002 y 2008. Sobre el total de las importaciones agroalimentarias, en 2002 estos volúmenes representaron el 60%, aumentando luego en 6 puntos porcentuales en 2008 (66%). El incremento de las importaciones de cereales se ha dado básicamente por dos razones: 1. Debido al aumento de la demanda de maíz amarillo destinado a la industria de alimentos balanceados, 2. Debido al aumento de la demanda del trigo en la industria panificadora, el cual el país no presenta condiciones agroclimáticas aptas para su cultivo.

Finalmente, la disponibilidad alimentaria tiene varios efectos directos en la SA de un país. Una primera repercusión va por cuenta de la oferta suficiente y disponible para satisfacer la demanda interna de alimentos, tanto para la industria alimentaria y no alimentaria del país. Segundo, las variaciones en determinados grupos de productos, como los transitorios, que son los que contienen los productos de *pancoger*, tienen consecuencias en las condiciones económicas de la población más vulnerable, por ser éstos su medio de sustento [6].

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El incremento de la demanda en bienes y servicios, como producto de un progresivo crecimiento poblacional, ha aumentado la presión sobre los recursos naturales, ocasionándoles a lo largo del tiempo y del espacio, cambios cualitativos y

cuantitativos. De igual forma, la base natural actual con que cuenta un país o región, debe responder a estas cambiantes necesidades, en las que se conjugan y compiten intereses y preferencias de los usuarios hacia los diferentes usos y aprovechamientos de las tierras [7].

La disponibilidad alimentaria está asociada básicamente con dos factores como: los volúmenes de producción, y los precios, dado que éstos influyen las decisiones de siembra de los productores. Las principales causas asociadas a la inestabilidad en la oferta alimentaria son:

3.1 ESCASA RENTABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA

La baja rentabilidad del sector agropecuario está ligada con el limitado acceso e inadecuado uso de los factores productivos.

3.1.1 Acceso a factores productivos

El sector agrícola de Colombia se ha caracterizado por una histórica distribución desigual de la propiedad de la tierra entre los pequeños productores, que en su mayoría se ubican en áreas con suelos de baja calidad. Según IGAC, el 3,4% del total nacional de propietarios concentra el 67% de la superficie total rural, y el 64% de los productores se concentran en predios menores de tres hectáreas.

En cuanto al recurso hídrico, Colombia cuenta con 6,6 millones de hectáreas de tierras regables, de las cuales sólo el 13% cuenta con mejoras en riego y drenaje [8]. Por otra parte, el crédito agropecuario ha mostrado un incremento en un 403%, al pasar de 27.371 créditos otorgados en 2002 a 137.826 en 2008 [9]. Finalmente, los servicios de asistencia técnica, son un determinante para el desarrollo productivo de la agricultura. Según la ENA, en 2006 sólo el 8% de las unidades productivas usaron servicios de asistencia técnica, evidenciando, además, el escaso uso de semillas y material reproductivo de calidad [10].

3.1.2 Inadecuado uso de los factores productivos

La producción agroalimentaria suficiente para garantizar el abastecimiento de las demandas de un país está íntimamente relacionada con los usos que se le da al recurso tierra y con sus usos potenciales. La aplicación de la clasificación del uso potencial de tierras en Colombia ha posibilitado la confrontación de los resultados con relación a la vocación de las tierras colombianas. En la tabla 2 se muestran los resultados de las dos últimas clasificaciones

realizadas por el IGAC [11] [7], en la cual se obtienen cambios referidos a las zonas aptas para cultivos y pastos.

Tabla 2. Uso potencial del suelo en Colombia

Actividad	Potencial millones de hectáreas (1985)	%	Potencial millones de hectáreas (2001)	%
Cultivos	14,0	12,3	21,5	18,9
Pastos	19,2	16,8	14,2	12,5
Bosques	78,3	68,6	71,2	62,5
Aguas y urbanas	2,3	2,4	7,0	6,1
TOTAL	113,8	100	113,9	100,0

Fuente: [7] Tomado de [12]

Como síntesis de la ENA se concluye que el uso de la tierra al interior de la frontera agrícola está caracterizada por la presencia de inconsistencias entre el uso y la vocación de las tierras, generando conflictos de uso, físicos y socioeconómicos, generados principalmente por una tenencia inequitativa y concentrada. Aunque Colombia dispone de 21 millones de hectáreas con potencial agrícola, sólo se cultivan 4 millones, mientras que en ganadería extensiva se utilizan 42 millones de hectáreas, cuando sólo son aptas 14 millones [13].

3.2 CONFLICTOS EN LA DISTRIBUCIÓN INTERNA DE ALIMENTOS

Uno de los factores influyentes en la distribución de los alimentos está referido con las características topográficas, incidiendo en el acceso a algunas regiones. La distribución desde las zonas de producción hacia los centros de consumo está directamente relacionada con el estado de la infraestructura vial y con las fluctuaciones de los precios internos de los combustibles, que dependen en gran medida de los internacionales.

Problemas relacionados con la infraestructura vial se hacen evidentes debido al retraso en cobertura y calidad de la red vial del país. Según el Banco de la República, Colombia posee una red vial limitada y de poca capacidad, aún si se compara con otros países latinoamericanos en vías de desarrollo [14]. En cuanto a la calidad de las vías, de acuerdo con el Ministerio de Transporte, en el 2004 del total de la red nacional pavimentada, apenas el 59% se encontraba en buen estado [15]. Dado lo anterior, y teniendo en cuenta que en Colombia, aproximadamente el 80% de la carga total se transporta por vía terrestre, efectos en el Estado y en

la cobertura de las vías, representan sobrecostos para la economía y para el consumidor final.

Otro factor importante está relacionado con los precios, ya que éstos dependen en gran parte de factores internos y externos, tanto en la producción como en la economía. Factores como el aumento de la demanda de alimentos en mayor proporción que el crecimiento de la oferta debido a cambios en las preferencias alimentarias, y el aumento de los ingresos, entre otros, han producido una inflación en los precios alimentarios, tal y como se ha evidenciado en los precios globales de los cereales, presentando variaciones aproximadamente del 50% en términos reales durante los últimos 35 años [16]. Esta situación afecta directamente a la población más vulnerable, en la medida que disminuye sus ingresos y por ende, su demanda efectiva de alimentos.

3.3 EFECTOS DE LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL Y FACTORES CLIMÁTICOS

Los recursos naturales son en esencia la base del sustento para la población más vulnerable que habita las zonas rurales. Estos recursos determinan la provisión de alimentos, el ingreso y el empleo. La degradación de la tierra, la pérdida del agua y de cosechas, se traduce en malnutrición y problemas de salud. Dado lo anterior, mejorar las condiciones ambientales locales reduce la vulnerabilidad de los pobres y genera más posibilidades y oportunidades para optimizar el nivel de vida de la población.

Según el Departamento Nacional de Planeación, el modelo productivo predominante en el país es caracterizado por el mal uso de los fertilizantes compuestos, plaguicidas, fungicidas y herbicidas [13], creando problemas de tipo ambiental y por ende, en el sector agropecuario.

Lo anterior se evidencia dado el aumento en la producción agrícola mientras el área cultivada ha disminuido casi en una quinta parte [17], implicando el aumento en la intensidad del uso de la tierra y aumento de la productividad en forma no sostenible.

4. APROXIMACIÓN AL MODELO

Se ha construido un modelo en Dinámica de Sistemas con el objeto de extraer conocimiento sobre las dinámicas presentes en la disponibilidad alimentaria, de forma que sean identificados puntos de apalancamiento y sean evaluadas potenciales políticas que generen estabilidad y sostenibilidad en el sistema.

4.1 REQUERIMIENTOS METODOLÓGICOS

La SA se describe como un sistema complejo, de orden socio-económico, debido a que: intervienen las decisiones del hombre, presenta cambios a través del tiempo, es de comportamiento dinámico, presenta relaciones no lineales, con retroalimentación múltiple de subsistemas, de naturaleza abierta, con presencia de retardos, compuesto de partes o subsistemas interdependientes entre ellos [18].

Dadas las características del fenómeno, se propone el uso de modelos causales-descriptivos, como la DS, como herramienta complementaria. La DS trata eficientemente problemas en un nivel alto de abstracción, y se enfoca en niveles macros y estratégicos (dinámicas poblacionales, estudios sectoriales, ecosistemas, etc.) [19] [20] [21]. Estudia el comportamiento de sistemas con causalidad compleja y cambios en el tiempo. Permite afrontar preguntas de investigación relacionadas con el conocimiento de cuándo y cómo pequeñas eventos crean grandes catástrofes.

Generalmente, los modelos desarrollados alrededor de la SA han usado modelos correlacionales como medio para proyectar o predecir políticas a corto y mediano plazo. En resumen, la DS es una metodología complementaria para abordar este problema debido a que:

- Es una metodología que permite el análisis de sistemas dinámicos, de tiempo continuo, y es propicia además para usarse en el modelamiento y simulación de sistemas complejos.
- Permite comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema y de cada uno de los elementos que lo componen. Es precisamente esta propiedad la que hace propicia esta metodología para que se puedan simular acciones sobre el sistema y evaluar el posible comportamiento en el tiempo.
- Permite identificar cuáles son las variables críticas que afectan el fenómeno, cómo se comportan ante algunos cambios inducidos, propiciando la formulación de unos escenarios más probables.
- Posee características como amigabilidad, transparencia, guía para la elaboración de políticas y capacidad de integralidad (*comprehensiveness*).

4.2 SUPUESTOS DEL MODELO

Algunos de los alcances y supuestos del modelo son presentados a continuación:

- El modelo no hace distinción alguna sobre algún tipo de producto agropecuario. Basa la producción agregada en términos de kilogramos equivalentes (de acuerdo al aporte calórico de cada subgrupo).
- Parte del supuesto de que la producción alimentaria debe suplir las necesidades internas del país. En caso de requerir alimentos, se importa, y si existe superávit, se exporta.
- Las demandas para otros usos de los productos agropecuarios son considerados exógenos en el modelo.
- Se realizarán simulaciones con la herramienta *Vensim* usando un horizonte de tiempo de 30 años y un paso de simulación anual.

A continuación se explican las causalidades y las hipótesis tenidas en cuenta para el estudio de esta problemática.

4.3 PRIMERA APROXIMACIÓN AL MODELO

Una propuesta agregada del subsistema de disponibilidad alimentaria como marco de la SA de un país, es presentada en el diagrama causal en la figura 2, como punto de partida para estudiar el comportamiento de la estructura y el efecto de políticas. Se ha partido de la interacción entre los siguientes componentes principales, tales como:

- 1) Suficiencia alimentaria, 2) producción de alimentos, 3) necesidades básicas y 4) productividad total de los factores (TFP).

El subsistema de suficiencia alimentaria se ve afectado por un ciclo de retroalimentación positivo que forma un crecimiento exponencial dado por los nacimientos y la población. A su vez, la población y las muertes crean un ciclo negativo de

retroalimentación, el cual limita el crecimiento poblacional.

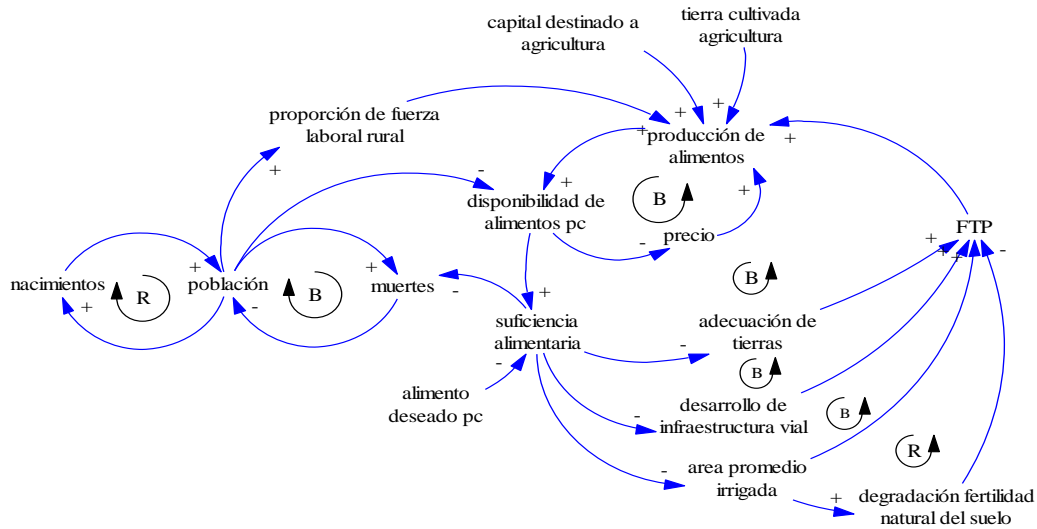
Las muertes, a su vez, dependen de una tasa de referencia de mortalidad y del efecto de la ausencia de suficiencia alimentaria. La diferencia entre el consumo mínimo requerido per cápita, el cual es un valor considerado adecuado para satisfacer las necesidades calóricas de la población, y la disponibilidad alimentaria per cápita, forman la proporción de suficiencia alimentaria, con efectos limitantes sobre la mortalidad. La fuerza relativa de estos dos ciclos de retroalimentación determina la tendencia de crecimiento poblacional.

La producción de alimentos, la suficiencia alimentaria y la productividad total de los factores (TFP), forman diversos ciclos de realimentación negativa. A medida que la proporción de suficiencia alimentaria se encuentre debajo de un nivel sostenible, los planificadores agrícolas no tienen más opción que tratar de aumentar la producción de alimentos por cualquier método posible (normalmente, el más rápido y menos costoso).

Diferentes medios para el mejoramiento de la productividad en la producción alimentaria están dados por: adecuación de tierras, el desarrollo de la infraestructura vial, el área promedio irrigada, formación de la fuerza laboral rural, y estrategias de mejoramiento del suelo que se encuentra degradado.

Tal vez la mejor manera de definir la SA desde una perspectiva nacional es el equilibrio entre la producción y la suficiencia de alimentos dadas unas necesidades básicas alimentarias.

En la **Figura2** se muestra el diagrama causal de la disponibilidad alimentaria.



5. RESULTADOS PREVIOS Y CONCLUSIONES

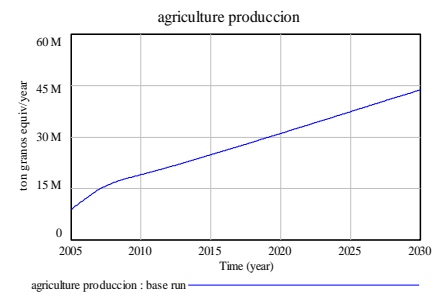
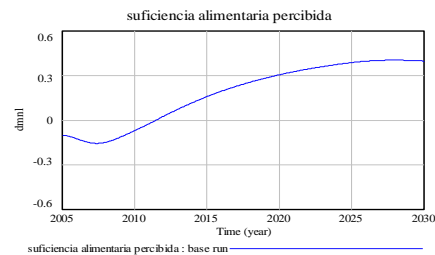
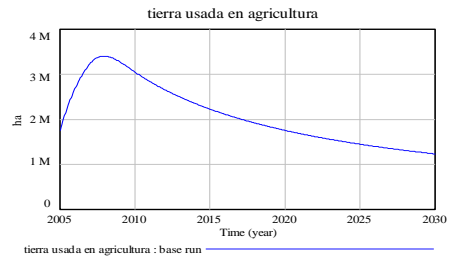
Para el escenario base, las siguientes políticas se encuentran incorporadas de forma implícita en el modelo:

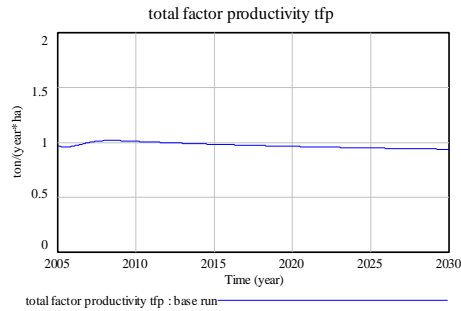
1. En el factor de producción tierra, se toma como referencia que la degradación de la tierra se da por una fracción normal de degradación más un efecto causado por la irrigación sobre la tierra.
2. El cambio deseado de la tierra está en función de la brecha alimentaria, el porcentaje de adecuación y los precios de los alimentos.
3. El alimento mínimo requerido está basado en las 2519 cal/persona- día según USDA [22].
4. Es considerada en la demanda total de alimentos tanto el consumo requerido mínimo de la población como la demanda para otros usos tales como: semillas, alimentación animal, procesamiento, entre otros.

Inicialmente, debido a que la brecha alimentaria es negativa, es decir, la diferencia entre los alimentos disponibles y la demanda total de alimentos es menor de cero, se da una percepción de baja proporción de suficiencia alimentaria, generando un mayor cambio deseado en la tierra y por ende, de la adecuación.

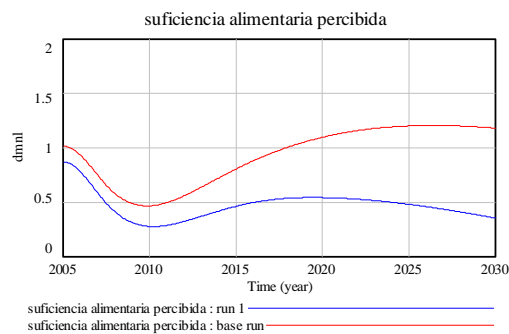
Al haber un mayor uso del factor productivo tierra, aumenta la producción alimentaria. Posterior a los primeros 5 años de la simulación, no se adecúa tierra para ser usada en agricultura, sin embargo, durante este tiempo sí se degrada la tierra. Esta

degradación se da por diferentes efectos, entre ellos: debido a la vida promedio de la tierra y por el efecto de la irrigación. Al degradarse la tierra, se reduce la tierra utilizable en agricultura.

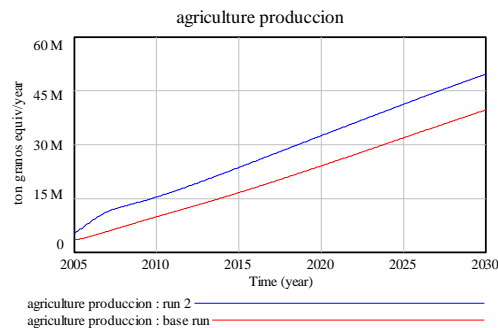




Al evaluar posibles escenarios que afecten la proporción de suficiencia alimentaria, se ha encontrado que el aumento en un 10% de la demanda total de alimentos, y de continuar las mismas proporciones de factores productivos usados y de FTP, la SA del país se encontraría en riesgo a futuro. Aunque el comportamiento de la proporción de suficiencia alimentaria continuaría por encima de cero, debido a la degradación de la tierra, la producción alimentaria decaería.



Una forma sostenible de aumentar la producción sería mediante un uso más eficiente de los factores productivos y del incremento de la productividad, en vez de la adecuación de nuevas tierras para uso en agricultura.



6. REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2009). The State of Food Insecurity in the World. Rome, Italy.
- [2] Naciones Unidas (2009). Programa mundial de la Alimentación. New York, USA.
- [3] Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2006). Encuesta nacional de la situación nutricional de Colombia, 2005. Bogotá: Oficina de comunicaciones.
- [4] SAEED, K. (1987). World Hunger: Do we understand it?. System Dynamics Review 3 (no. 1. Winter)
- [5] ERICKSEN, Polly J., INGRAM, John S.I and LIVERMAN, Diana M (2009). Food security and global environmental change: emerging challenges. Environmental Science and Policy. Volume 12, Issue 4.
- [6] Food and Agriculture Organizations of the United Nations. (2009). El estado de los mercados de productos básicos agrícolas. Los precios altos de los alimentos y la crisis alimentaria: experiencias y lecciones aprendidas. Roma, Italia: División de Comunicación.
- [7] Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. (2002). Zonificación Agroecológica de Colombia. In D. Malagón Castro, E. M. Garzón, A. Palacios, & M. Romero Carrascal, Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia (pp. 21-47). Bogotá: GRAPA.
- [8] Banco Mundial (2003). Colombia: Competitividad Agrícola y Rural.
- [9] Reportes de Finagro (2009). Estadísticas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.
- [10] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Corporación Colombia Internacional - CCI. (2009). ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA. Bogotá, Colombia: ISSN 2027 - 3959.
- [11] Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (1986). Clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Bogotá: Subd. Agrol.

- [12] KALMANOVITZ, S., & LÓPEZ, E. (2006). La agricultura colombiana en el siglo XX. Bogotá: Fondo de Cultura Económica, Banco de la República.
- [13] Departamento Nacional de Planeación (2005). Visión 2019 Colombia II Centenario.
- [14] PÉREZ, Gerson J. (2005). La infraestructura del transporte vial y la movilización de la carga en Colombia. Documentos de trabajo sobre Economía regional No. 64.
- [15] Ministerio de Transporte (2008). Diagnóstico sobre el sector transporte 2008. Grupo de Planificación Sectorial.
- [16] BROWN, Lester R. (2009). ¿Could Food Shortages Bring Down Civilization? Scientific American Magazine. En línea <<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=civilization-food-shortages>> Abril 22 de 2009.
- [17] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2005). Consolidación de la Agenda Interna Agropecuaria.
- [18] SAEED, K. (1994), Development Planning and Policy Design. A system dynamics approach. Avebury. Asian Institute of Technology.
- [19] STERMAN, J. D. (1988). A Skeptic's Guide to Computer Models. In: Barney G. O., Kreutzer W.B., Garrett M.J. (eds.). Managing a nation: The microcomputer software catalog. Westview Press, Boulder CO
- [20] SAEED, (1987). A re-evaluation of the effort to alleviate poverty and hunger. Socio-Econ. Plann. Sci. Vol. 21, No. 5, pp. 291-304.
- [21] MEADOWS, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, J., and Behrens, W. W. (1972). The limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books.
- [22] National Academy of Sciences, (2002). Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. En línea <<http://www.iom.edu/Global/News%20Announcements/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRIs/DRISummaryListing2.ashx>> Septiembre 3 de 2010.

Aplicación de la DS en la problemática de tenencia de tierras en Colombia, para la evaluación de políticas de distribución de tierra

Application of the DS on the issue of land tenure in Colombia, for the evaluation of land distribution policies

PhD Germán Andrés Méndez, Ing. Pedro Suárez Guerrero y Ing. Derly Alejandra Ramírez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Bogotá - Colombia
gmendez@udistrital.edu.co, psuarezgu@gmail.com, derlyalejandra_ramirez@hotmail.com

Resumen: Hoy, doscientos años después de iniciada la gesta libertadora, que combatió a las arbitrariedades que se cometían en estas tierras, se observa cómo la problemática de la tenencia de la tierra ocupa la atención de políticos, economistas, sociólogos; de organizaciones del gobierno y no gubernamentales. Esta problemática tiene diferentes perspectivas de análisis, distinguiéndose, entre otras muchas, los fenómenos de concentración y modos de apropiación empleada. Bajo este panorama el presente trabajo investigativo tiene como finalidad desarrollar un modelo que caracterice y represente el problema de tenencia de la tierra en Colombia, concentrándose en los principales hechos de las últimas dos décadas. Posteriormente, mediante el planteamiento de escenarios proponer estrategias y políticas de distribución de la tierra evaluando su impacto bajo la perspectiva económica, social y política, mediante el diseño y uso de una herramienta de simulación continua. Siendo este un aporte de la ingeniería al servicio de los avances que se deben dar en materia de paz y equidad para la sociedad en Colombia.

Palabras Clave: Tenencia de la tierra, concentración de la tierra, modelo de simulación, problemática social.

Abstract: Today, two hundred years after process of independence, which try to solve injustices that were committed in these lands, nowadays it is seen as the problem of land holding focusing attention of

politicians, economists, sociologists, not only in a public or private organizations, but also for government agencies and NGOs. This problem has different perspectives of analysis such as phenomena of concentration and modes of appropriation employed. Under this scenario the present research tries to develop a model in order to characterizing and representing the problem of land holding in Colombia, focusing on the main events of the past two decades. Subsequently, we are designing different scenarios to propose strategies and policies for land distribution to assess its impact on the economic, social and political view by designing and using of a continuous simulation tool. Since this is a contribution of the Engineering in the service of progress that must be taken in peace and equity for society in Colombia.

Keywords: Land holding, land concentration, model of simulation, social problematic.

1. INTRODUCCIÓN

Las reivindicaciones que dieron lugar a las políticas en reforma agraria en el país siguen sin una verdadera solución, pues el conflicto armado y el problema de tenencia de tierra parecen tener una estrecha relación con acciones comunes de la dinámica del país¹. A lo cual se ha agregado una rampante degradación ambiental, una pérdida acelerada del capital natural².

¹ Ana María Ibáñez, Acceso a tierras y desplazamiento forzado, 2005

² Cris Van Dam, La Tenencia de la Tierra en América Latina. El Estado del Arte de la Discusión en la Región, 1999.

Una problemática de alto impacto a nivel económico, político y social son los problemas característicos de la tenencia de tierra en Colombia, entre los que sobresalen la concentración y las modalidades de apropiación empleadas. Los cuales son consecuencia y causa de la manifestación de diferentes hechos; como la violencia vivida durante los últimos 80 años, desplazamiento, pobreza rural, éxodo a las ciudades, estancamiento de la producción agropecuaria, procesos sistemáticos de colonización y ampliación de la frontera agrícola, el cambio tecnológico, la marcada desigualdad social, la globalización, las reformas políticas, entre otros.

Bajo este panorama, urge la necesidad de establecer mecanismos que sirvan para determinar cuál será el impacto de las políticas que se plantean hoy y su proyección causal en el mañana, pues se busca que exista un verdadero derecho en el acceso de tierras para la población vulnerable, las cuales la pueden emplear como parte de los medios de producción social de su subsistencia.

Con base en esta proyección de decisión se debe plantear y tomar una decisión en concreto y determinar qué tanto se desea adentrar a los mecanismos de distribución de la tierra. Para esto se debe comenzar con reconocer los actores que intervienen en la dinámica del sistema y en este caso legitimar algunos otros, y entender el comportamiento del sistema que se está estudiando, los diferentes actores y analizar las principales características a fin de representar bien el sistema.

Se recurre al empleo de la Dinámica de Sistemas y el modelamiento matemático, ya que nos permite simular y entender el comportamiento dinámico de un sistema y entender éste cómo cambia a través del tiempo, denotando sus características más representativas tales como la complejidad estructural y dinámica, la retroalimentación, relaciones no lineales. Éste se puede representar formalmente empleando un lenguaje de simulación continua, bajo el cual interactúa un usuario, permitiendo el estructuramiento y la implementación sobre el modelo (representa la realidad) de políticas que puedan efectuarse en el ordenamiento territorial que se proponga y dimensionar su impacto o éxito, con la ventaja de poder evaluarlas en un escenario simulado.

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad desarrollar un modelo que caracterice y permita representar el problema de la tenencia de tierra en Colombia durante las últimas dos décadas, sobre el cual se puedan evaluar diferentes políticas de distribución de tierra de índole económico, social y

político. Mediante el planteamiento de escenarios para determinar su impacto; y con esto mostrar los elementos fundamentales del modelamiento y simulación de sistemas dinámicos en ingeniería⁴, poniendo esta herramienta al servicio de los avances en materia de paz y equidad para la sociedad Colombiana.

2. CONTEXTO GENERAL DEL PROBLEMA DE LA TENENCIA DE TIERRA EN COLOMBIA

La configuración de la estructura agraria en Colombia se ha visto trastornada por la implementación de modelos y políticas de mercado en una lógica de oferta y demanda sin ninguna visión raizal³ de apropiación y distribución de la oferta de tierras, lo cual ha favorecido escenarios discriminativos marginalizando una parte de la población y propiciando fenomenologías como procesos de violencia sistemática prolongada. Acentuando de una serie de reivindicaciones históricas de sectores que buscan el reconocimiento de sus condiciones y derechos naturales y constitucionales.

En la **Tabla 1** se presenta la clasificación de predios empleada para el cálculo del coeficiente de concentración de tierra.

Tabla 1. Distribución de los predios y sus superficies según tamaños

Tamaños Ha	% Predios		% Área	
	1984	1997	1984	1997
0 a 100	96.9	97.4	40.0	34.5
100 a 500	2.7	2.3	27.5	20.5
+ de 500	0.4	0.3	32.5	45.0

Fuente: RINCON Claudia "estructura de la Propiedad rural y mercado de tierras, Unal 1997

El modo de producción como mecanismo que usa el ser humano en la relación hombre ambiente ha generado estructuras de apropiación inestables, dimensionando la organización territorial a los requerimientos de mercado. De tal manera Colombia cuenta⁴⁵ con 1.141.538 Km², de los cuales según el Banco Mundial, tiene altos índices de concentración

³John D. Sterman, todos los modelos están equivocados; reflexiones sobre cómo convertirse en un científico de Dinámica de Sistemas, Premio a la Cátedra Forrester 2002.

⁴Propuesta política y de acción de los pueblos indígenas, 2004, Fuente: Organizaciones Indígenas de Colombia.

⁵ Yovanny Martínez Martínez, la tenencia de la tierra en Colombia, IGAC 2003.

en la tenencia de la tierra. Para el año 2005, el 0.45% de los propietarios tenía el 57.3% de la superficie en predios superiores a 500 hectáreas, mientras que el 24.2% del área pertenecía al 97% de los propietarios en predios menores de tres hectáreas. El índice de Ginni de propiedad agraria rural calculado para este mismo año era de 0.85, por encima del promedio regional de América Latina, que se calcula en 0.814. Es decir que en esta materia, Colombia es uno de los países más inequitativos de la región. Además tan solo 51.3 millones de hectáreas son superficie agropecuaria y 10 millones de estas son aptas para la agricultura pues 30 millones son empleas para la ganadería extensiva, lo que incrementa la problemática aun mas es que el 70% de los propietarios tienen el 5% del área cultivable, lo que dimensiona acciones y mecanismos dirigidos a satisfacer las condiciones básicas de la población.

Por la vigencia y actualidad en la trascendencia generacional y social de las dinámicas conflictivas en materia de tenencia de tierra en Colombia se plantea la inquietud de indagar e innovar mediante el planteamiento de esta investigación, caracterizando su problemática mediante el enfoque de la Dinámica de Sistemas. Para esto, se propone esta investigación con el Mostrar el desarrollo de un modelo de simulación continua que caracteriza y permite representar el problema de la tenencia de tierra rural en Colombia durante las dos últimas décadas, sobre el cual se puedan evaluar diferentes políticas de índole económico, social y político mediante el planteamiento de escenarios que permitan determinar su impacto, y la elección de la “mejor” política que encuentre resultados satisfactorios a mediano y largo plazo.

2.1 FENOMENOLOGÍA

Para poder tener claridad de la formulación del problema es necesario aludir y generar el siguiente cuestionamiento como objeto de investigación:

¿Qué impacto en la estructura de tenencia de tierra se espera que tengan las políticas actuales que inciden directa o indirectamente en la concentración de tierra en Colombia, más específicamente los índices de concentración y las tasas de distribución de tierras; y que factores y variables se deben tener en cuenta en la formulación de políticas y estrategias para el manejo de la tenencia de tierra en Colombia a más de un corto plazo?

Y es que la pobreza en el campo no solo no ha sido resuelta si no que se ha agudizado, habiendo fracasado el viejo modelo de industrialización, la ciudad ha demostrado la incapacidad de absorber a

tantos desplazados, además las reglas de juego y del libre mercado para los países en vía de desarrollo es un reto principal el responder a la problemática de la sociedad, esta hace referencia a la existencia de condiciones objetivas que se relacionan directamente con los padecimientos humanos. Así, por ejemplo, la desnutrición, el analfabetismo, las malas condiciones sanitarias, la falta de trabajo, entre otros, son asuntos percibidos socialmente como problemas sin otro requisito que la sensibilización acerca de las condiciones de vida de los individuos implicados.

La tenencia de tierra es una problemática de gran magnitud en la actualidad, la cual ha tenido un fuerte impacto en el desarrollo económico, social y político de Colombia, agudizando una crisis vivida desde comienzos de la década de los treinta. Esta problemática causa en la sociedad, fenomenologías como: desestructuración de las relaciones sociales tejidas históricamente, deficiencia social de los recursos con la mala calidad en las formas de producción, reproduce los factores de concentración y desigualdad en el sector rural, lo que se ve reflejado en una constante disminución de la calidad de vida del individuo colombiano.

A las consecuencias anteriormente nombradas, se suman otras de índole económico, social y político por la mala planeación e implementación de los planes de desarrollo rural, como el aumento del costo marginal en la producción de alimentos, impactos sobre la seguridad alimentaria regional y familiar, las relaciones entre violencia y desempleo, relaciones entre desalojo territorial y arraigo familiar, condiciones de desigualdad, aumento de economías informales, menor desarrollo del sector empresarial, estos factores amenazan la estabilidad económica, social y política del país.

Para reactivar el aparato productivo y mejorar la situación del país, es necesario evaluar las políticas en materia de tenencia y distribución que puedan llegar a reducir las tasas de concentración de tierra, además se estudiaran las variables que influyen en la formulación de estas políticas y que afectan directa o indirectamente el problema de la tenencia de tierra.

Dada esta situación, se plantea desarrollar una metodología que integre la concepción territorial y social de la ingeniería en el mejoramiento del modo de producción y modelo de desarrollo, transdisciplinariamente con las ciencias sociales utilizando los Sistemas Dinámicos, que permita caracterizar y proponer alternativas de mejora a la problemática de la tenencia de tierras que afecta las principales regiones de Colombia.

En el Diagrama 1 se presentan el marco metodológico seguido en el proceso de investigación.

Figura 1. Diagrama Metodológico



Fuente: Autores

3. CONTEXTO METODOLÓGICO

3.1 GENERALIDADES

En este artículo se presentan y dan a conocer las generalidades correspondientes al despliegue de la investigación, que se desarrollo entre los miembros de la comunidad académica de estudiantes y profesores miembros del grupo de trabajo en Modelamiento de Problemáticas Sociales con Dinámica de Sistemas, frente al problema de tenencia de tierra en Colombia, el cual hace parte del grupo de investigación S.E.S. (Sistemas Expertos y Simulación de la universidad Distrital F.J.C).

3.2 METODOLOGÍA

Para plantear la metodología a seguir, se tomo como base la Desarrollada por el grupo SES y plasmada en el libro “Diseño de prototipo diagnostico para la pequeña y mediana empresa, PYME, Enfoque mediante Sistemas Dinámicos”.

A continuación se hace una breve exposición de dicha metodología;

En la Primera Etapa

Recolección del conocimiento: esta fase correspondió a la adquisición del conocimiento del sistema

denominado variables que afectan la tenencia de tierra. En esta etapa se realizó el diseño de la metodología de recolección de conocimiento, recolección de datos estadísticos del problema, sirviendo estos como soporte al proceso de análisis y síntesis de la información.

Segunda Etapa

Sistematización del modelo: la cual abarca: Elaboración de modelo, en donde se evalúan las variables de interés para desarrollar el modelo matemático y de simulación.

4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

4.1. Definición objetivos

Desarrollar un modelo de simulación continua que caracterice y represente el comportamiento de la tenencia de tierra en Colombia durante las últimas dos décadas, que permita sustentar y entender sus dinámicas y proponer políticas que minimicen los niveles de concentración en tanto se regule una mayor distribución.

4.2. Consulta de Bibliografía

Para la construcción del motor de búsqueda del sistema experto, se consultaron 250 fuentes aprox.

En la **Tabla 2** se presentan los resultados obtenidos para la clasificación.

Tabla 2. Tipología de Fuentes.

Tipología de Fuente	Número de registros
Estudios Económicos	25
Artículos	100
Informes y noticias	50
Estudios Socioculturales	25
Leyes y Normatividad	50

4.3 Pareto de Causalidad.

El diagrama de Pareto es un gráfico de barras que muestra la frecuencia relativa de hechos en orden descendente. Se conectan con una línea para mostrar la adición incremental

En la **Figura 2** se muestra un diagrama de barras, en donde se presentan las causas identificadas en el proceso de consulta y una vez efectuada la matriz de afinidad.

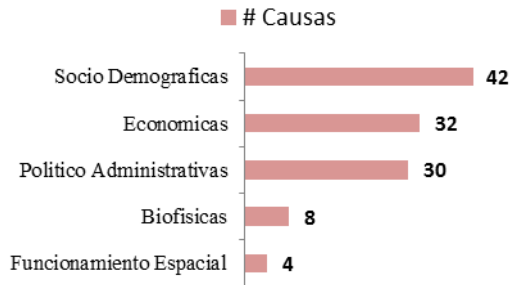


Figura 2. Figura # Casos

4.4. Diagrama de causa-efecto

Sirve para clarificar las causas de un problema. Posee dos áreas básicas: una de causas o de factores que afecta, y otra de efectos. Las flechas indican la relación entre los efectos y las causas. Lo importante es cubrir el efecto con la mayor cantidad relevante de causas. Permite que el equipo se concentre en el contenido del problema, no en la historia del problema ni en los distintos intereses personales de los integrantes del equipo. Crea como una fotografía del conocimiento y consenso colectivo de un equipo alrededor de un problema. Esto crea apoyo para las

soluciones resultantes. Hace que el equipo se concentre en causas y no en síntomas.

Dentro de los agentes generadores y propagadores de la estructura agraria en el país encontramos como causas de primer nivel en el modelo de concentración de tierra, Políticas DRI, Desplazamiento, Actores Concentradores, Megaproyectos, Políticas de mercado de tierras, Movimiento social. De las cuales nos vamos a detener a entender la dinámica de los actores Concentradores, Desplazamiento, Mercado de tierras.

4.5. Modelo de causalidad:

Para adentrarnos en el análisis sobre el proceso de concentración de tierra en el país, se efectúa una reflexión inicial, la cual postula “la necesidad de aprender e indagar a partir de la evidencia⁶” en aras de explicar los flujos y las relaciones que generaron el actual estado complejo de la problemática, visto que intervienen actores de diversa naturaleza –

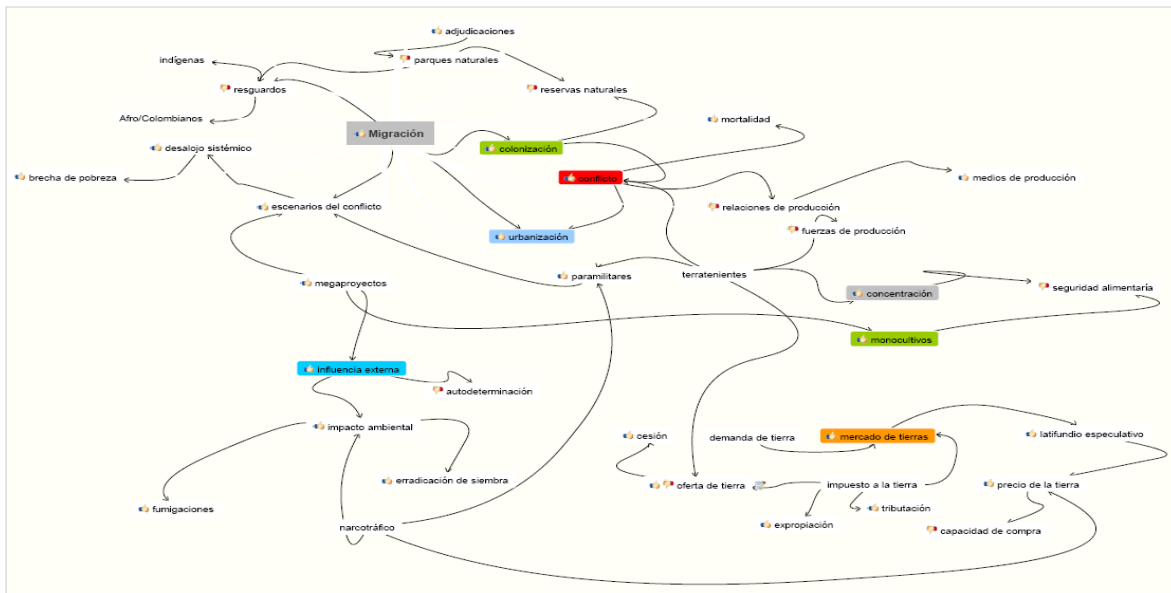


Figura 3. Diagrama Causal

-Entre los que encontramos; al Estado, los grupos alzados en armas, los Paramilitares, el narcotráfico, la población civil, entre otros.-

Estos interactúan como catalizadores de fenomenologías, que se recrearon en diversos escenarios del territorio Colombiano. Ya sea para ser malinterpretadas y enunciadas como problemas alicientes del desgastado proceso de violencia que ha

vivido Colombia: Y es que el desplazamiento, el aumento de la frontera agrícola, la inseguridad alimentaria, la pérdida del capital sociocultural, e incluso la pérdida de soberanía, tienen un origen en común y es la instauración de un nuevo modelo de producción propiciando por la política de acumulación de capitales.

4.6. Modelo matemático:

A partir del modelo de causalidad, se construye un modelo matemático para analizar los impactos de las causas del problema; en esta parte se desarrolla una matematización del problema que no es otra cosa que la transducción de variables y la operacionalización de las mismas. Se siguen los lineamientos de la dinámica industrial desarrollada por el profesor Jay Forrester.

Las ecuaciones que rigen el modelo son de tipo tautológicas, es decir del tipo ecuaciones diferenciales;

(I)

$$\begin{aligned} \text{POSESION_ILEGITIMA (T)} = & \\ \text{POSESION_ILEGITIMA (T - DT)} + & \\ (\text{AUMENTOPOSILEG -DISMINUCIONPOSILEG}) & \\ * \text{DTINIT POSESION_ILEGITIMA} & \end{aligned}$$

Ode diferencia finita, es decir del tipo

(II)

$$\begin{aligned} \text{BAJAS_POBLACION_CIVIL (t)} = & \\ \text{BAJAS_POBLACION_CIVIL (t - dt) INIT} & \\ \text{BAJAS_POBLACION_CIVIL.} & \end{aligned}$$

Obtenidas por regresiones múltiples lineales y no lineales, y funciones de tipo lógico como sentencias de tipo <<si... entonces...>>¹.

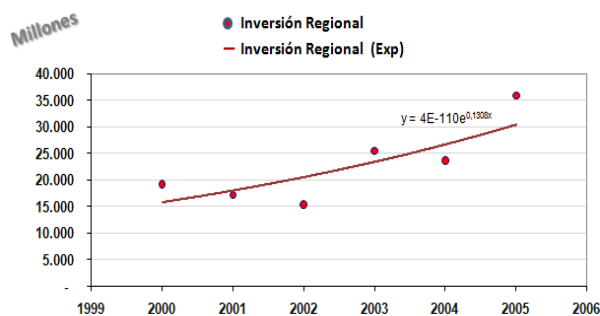


Figura 4. Multiplicadores de inversión en seguridad

Fuente: Autores

Las cuales hacen parte del modelamiento del sector: **Actores del conflicto**, al cual se incorporan las estimaciones de multiplicadores y parámetro necesarios en correlación de las variables en el modelo.

4.7. Recolección de datos históricos:

A través de encuestas y datos estadísticos proporcionados principalmente por el DANE, IGAC, estudios de Absalón Machado, Codhes, en donde se observe la evolución de la tasas distribución y los índices de concentración de tenencia de tierra, además de otros indicadores relacionados con la investigación.

4.8. Modelo de simulación:

Para este fin se utilizó un lenguaje de simulación continua, que es un software, donde el usuario desarrolla el modelo con ayuda de iconos y le permiten la construcción directamente en la pantalla del computador en forma gráfica. El software utilizado fue I Think 9.02.

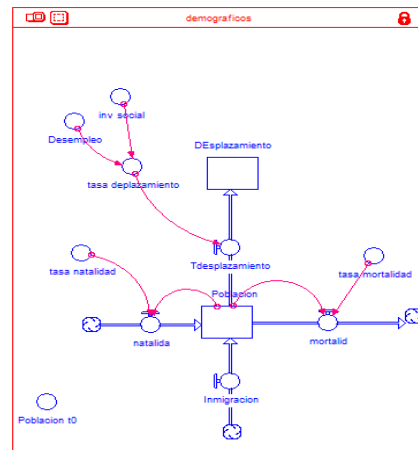


Figura 5. Modelo demográfico

Fuente: Autores

4.9. Validación:

Realizando varias corridas del modelo de simulación para convalidar, por un lado, el sentido de la causalidad, y por el otro, las interacciones ocultas entre distintas causas y subcausas.

En la **Figura 5** presenta el modelo característico de la dinámica de desplazamiento y el comportamiento demográfico en las regiones colombianas.

Además se utilizó la simulación ex-post (predicción del pasado) empleando los datos históricos y verificando que se represente el comportamiento histórico de estos con una tolerancia de diferencia mínima.

Al validar el modelo se tiene una tasa de desplazados equivalente 189 mil desplazados por año, las cuales

comparadas con los datos reportados por ACNUR y Codhes (200 mil personas por año) presentan un margen de error de 6%.

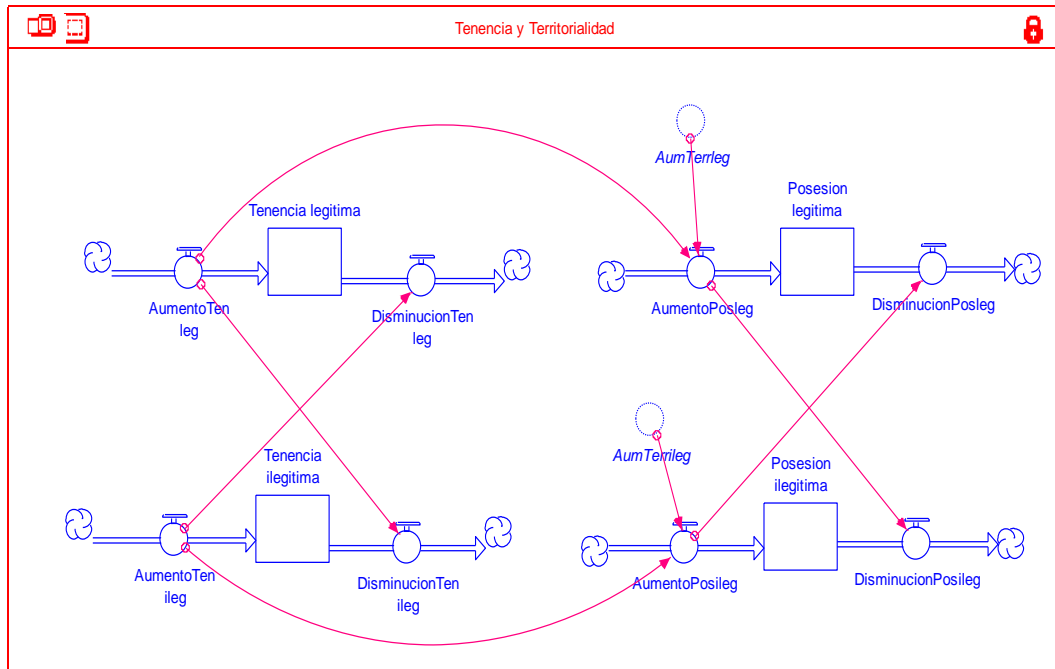


Figura 6. Modelo de Actores Concentradores de territorio

4.10. CONCLUSIONES

Planteamiento de escenarios

Con el fin de determinar el impacto y la elección de diferentes políticas y estrategias, se plantearon distintos escenarios que ejemplifican el posible futuro comportamiento de las variables que sean más relevantes para el control de estas mismas.

Se evaluaron dos tipos de políticas: En la primera se aumentó la inversión que ejecuta el estado en materia de seguridad democrática, por encima del 3% del PIB, como estrategia para recuperar la territorialidad y la influencia de los actores alzados en armas en territorios del Magdalena Medio, inicialmente. Bajo esta medida se generó un aumento del 13% sobre la tasa base de 189 mil desplazados anuales, para un periodo evaluado de cinco años. Esto, observado

como subcausa del incremento en las acciones y enfrentamientos entre actores (ver figura6), Visto como símil se podría dar explicación como medida del proceso de incursión estatal en territorios hegemónicos de las fuerzas insurgentes. También cabe proponer y resaltar, para posteriores análisis, el fenómeno propiciado en materia de seguridad, el aumento de los índices que determinan la confianza inversionista y otros indicadores.

Otra medida fue la instauración de macro políticas contempladas en los planes desarrollo, medidas como el aumento de territorios dedicados a la explotación y monocultivos en regiones del pacífico colombiano, con ello se adentró en entender la influencia que ejerce este modelo en la estructura de tenencia de tierra, obteniendo un incremento en el coeficiente Gini del 7%, sobre el parámetro consultado y reportado por el IGAC.

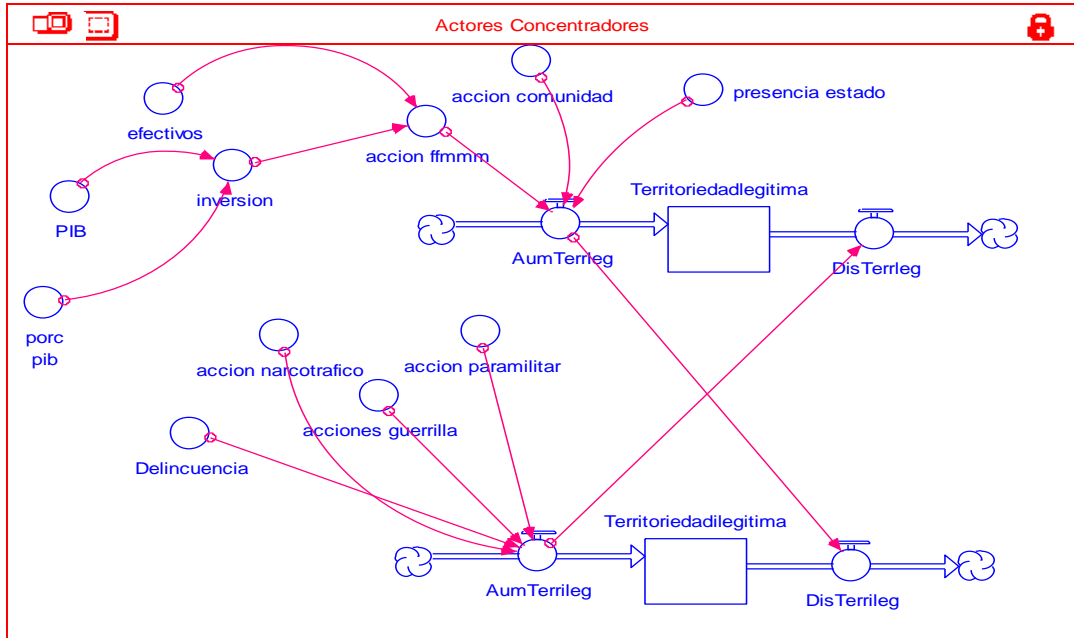


Figura 7. Modelo de Tenencia y Territorialidad

La importancia del análisis efectuado nos lleva a poder inferir las estrategias necesarias para poder solventar y regular las políticas que generan los procesos críticos en el aumento de los índices de concentración. Dimensionando de cerca el impacto esperado en los resultados evaluados, por ejemplo en los predios mayores a 500 hectáreas, los cuales generaron el principal crecimiento (a tractor de crecimiento y de concentración), ya sea por el empleo de los mismos en tareas que exigen la incursión de mayores volúmenes de recurso y mejores niveles tecnológicos. Se olvida por otra parte de generar políticas de contención para las amenazas generadas como la disminución de hectáreas destinadas a las labores de agricultura y el asignarle la responsabilidad al mercado para que condicione las políticas de seguridad y soberanía alimentaria.

Queremos finalizar dejando a la comunidad académica, social y política del país, una invitación para efectuar la discusión abierta y retomar el análisis y el debate, acerca de las fenomenologías existentes que conllevan a propiciar escenarios vulnerables en la proliferación de situaciones como la concentración de tierra. No sin antes incitar hacia la reflexión con la siguiente proposición: en Colombia se da el proceso de desplazamiento y concentración de tierras, como fundamento de las políticas de desarrollo rural y el pretender instaurar un nuevo modo de producción. Esto se adelantó de forma sistemática y en escenarios que presentaban posibilidad de acumulación.

5. REFERENCIAS

5.1. REFERENCIAS DE LIBROS

1. ALFRED, L. & GRAHAM, A. Introduction to urban dynamics. Editorial MIT Press, 1976. Cambridge M.A.
2. ÁLVAREZ, Yolanda y ALONSO, M^a Isabel. 2000. El proceso de toma de decisiones en entornos complejos: una aplicación metodológica: <http://www.uniovi.es/econo/DocumentosTrabajo>
3. ARACIL, Javier y GORDILLO, Francisco. 1997. Dinámica de Sistemas. Editorial Universidad de Textos. Madrid, España.
4. BARROS, C.; FRANCO R. Aspectos metodológicos de las políticas de desarrollo social. APSAL ISUC. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 1984.
5. CORONADO DELGADO, Sergio Andrés: Réquiem por el campo. Reflexiones alrededor del Estatuto de Desarrollo Rural, revista Cien Días No. 61, CINEP, Bogotá 2007.
6. DURÁN GARCÍA, David Alfonso, PARRA ALDANA, Juliana Inés: Desplazamiento Forzado en Colombia: Derechos, acceso a la

- justicia y reparaciones, ACNUR, Colombia 2007.
7. DYNER, I. Dinámica de Sistemas y simulación continua en el proceso de planificación. Editorial Colciencias. 1993. Santafé de Bogotá.
 8. ESCALADA, Mercedes; FERNÁNDEZ SOTO, Silvia y FUENTES, Pilar. "Acción, estructura y sentido en la investigación diagnóstica". Editorial. Buenos Aires. 2001.
 9. FAJARDO Darío. Por el derecho a la tierra, Plataforma Colombiana de Derechos Humanos: Democracia y Desarrollo, Editorial ILSA, Bogotá 2002.
 10. FORRESTER, Jay W. 1961. Industrial Dynamics, MIT Press Cambridge Mass.
 11. FORRESTER, Jay W. 1991. System Dynamics and the Lessons of 35. Massachusetts Institute of Technology.
<http://sysdyn.clexchange.org/people/jay-forrester.html>
 12. HAYES, David. Artículo: "Diez problemas no resueltos en 2007". Publicado en El País el 31 de diciembre de 2007. Madrid, España.
 13. HORTON, Paul. "Problemas sociales". Ed. El Ateneo. Buenos Aires. 1978.
 14. HORTON, P. B.; LESLIE, G.R. "The sociology of social problems". Englewood Cliffs. N. Jersey. 1974.
 15. IBÁÑEZ, Ana M. QUERUBÍN, Pablo. Acceso a tierras y desplazamiento forzado en Colombia. En: documento CEDE 2004-23 ISSN 1657-5334. Mayo de 2004 Disponible en: http://www.semana.com/documents/Doc-1761_2008926.pdf [Consultado 3 de marzo de 2009]
 16. KALMANOVITZ, Salomón: Tierra, conflicto y debilidad del Estado en Colombia, Universidad Nacional de Colombia, en Observatorio de la Economía Latinoamericana 44, junio 2005 Texto completo en www.eumed.net/cursecon/ecolat/co/
 17. LORENTE, Luis; SALAZAR, A. y GALLO, A. 1984 "Distribución de la Propiedad Rural en Colombia 1960 –1984". CEGA, Ministerio de Agricultura.
 18. MACHADO Absalón, SUAREZ, Ruth: El mercado de tierras en Colombia ¿una alternativa viable?, misión rural, IICA. Ministerio de agricultura.
 19. MALAGÓN CASTRO, Dimas: Informe de país Colombia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia, 2002.
 20. MARTINEZ MARTÍNEZ, Yovanny, La tenencia de la tierra en Colombia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia, julio de 2003
 21. MARX, Carlos. (1872). La nacionalización de la tierra - documentos sobre el problema agrario, 3 de marzo (1872).
 22. MÉNDEZ G., Germán A., ÁLVAREZ P., Lindsay. 2004. Diseño de prototipo diagnóstico para la pequeña y mediana empresa, PYME. Editorial Universidad Distrital F.J.C. Bogotá D.C.
 23. MONDRAGÓN, Héctor. 2000. Colombia: o mercado de tierras o reforma agraria. Borradores de Economía, Banco de la República No. 176. Bogotá D.C. ANUC UR Fensuagro, Coordinadora Nacional Agraria.
 24. MONDRAGÓN, Héctor 1986 "Propuesta del campesinado", en Economía Colombiana N° 186, pg.17.
 25. RODRÍGUEZ VELÁSQUEZ, Marcela del Rocío: Apertura económica, crisis agraria e intensificación de la violencia en el campo en Colombia 1990-2005, Tesis Maestría Universidad Javeriana, Bogotá 2005.
 26. SANTRICH, Jesús; GRANDA Rodrigo: La necesidad de una transformación agraria revolucionaria y el programa agrario, Un enfoque desde las FARC-EP, 2009. Consultado en www.anncol.eu, el 20 de julio de 2009.
 27. SOTOLONGO CODINA, Pedro: La sociedad como sistema dinámico complejo, publicaciones del centro Félix Varela, editorial Linotipia Bolívar, La Habana Cuba 2006.
 28. ICONTEC, NTC 1486: Documentación. presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. 2002. Bogotá. D.C.

5.2 TESIS

SUÁREZ GUERRERO, Pedro; RAMÍREZ ÁVILA, Derly Alejandra: Aplicación de Dinámica de Sistemas en el modelamiento de la problemática de la tenencia de tierras en Colombia para la evaluación de políticas de distribución de tierras, Tesis bajo modalidad de investigación en pregrado; Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá -2010.

5.3 REFERENCIAS EN INTERNET

CODHES. Tapando el sol con las manos. Bogotá, Prensa CODHES, Disponible en: <http://www.codhes.org>, [Consultado 30 de Septiembre de 2009].

6. AGRADECIMIENTOS

Un sincero reconocimiento al grupo de Modelamiento en Problemáticas sociales de la Universidad Distrital F.J.C. y en especial al PhD Germán Andrés Méndez Giraldo por sus constantes reflexiones y orientaciones hacia el proceso investigativo.

Agradecemos a los pobladores, campesinos e indígenas, del Catatumbo y a los diferentes cabildos en los departamentos del Cauca y Popayán, por su constante ejemplo de dignidad y por haber compartido con nosotros su visión sobre el “problema de la tenencia de tierra”.

La evaluación de políticas de emprendimiento como solución a la pobreza en Medellín. Acercamiento desde la Dinámica de Sistemas

Evaluation of entrepreneurship policies like solutions of poverty in Medellin. A System Dynamics approach

Diego F. Gómez, Ph.D, Sebastián Aparicio, B.A y Mauricio Zuluaga C., MSc
Fundación ECSIM
direccion@ecsim.org, ecsim@ecsim.org, investigador1@ecsim.org

Resumen: La pobreza es un fenómeno que aqueja a todos los países y regiones. Actualmente los gobiernos nacionales y territoriales están implementando políticas para combatir esta problemática, entre las que se encuentran programas específicos de emprendimiento. Este trabajo tiene el objetivo de evaluar los efectos de políticas encaminadas al aumento de los niveles de “propensión al emprendimiento” en las familias más vulnerables de Medellín. Estas familias son identificadas a través de una clusterización, la cual permite caracterizar un grupo específico de personas. Posteriormente, las características de estas familias son simuladas a través de un modelo de Dinámica de Sistemas para observar su comportamiento de ingresos, escolaridad y esperanza de vida en el mediano y largo plazo, concluyéndose que, mejoras en las políticas de emprendimiento implican mayores niveles de desarrollo y un menor índice de pobreza.

Palabras Clave: Desarrollo, Dinámica de Sistemas, emprendimiento, familias, pobreza.

Abstract: Poverty is a phenomenon faced by all countries and regions. Currently, national and local governments are implementing policies to combat this problem, including specific programs of entrepreneurship. The objective of this work is to evaluate the effects of policies aimed to increase the propensity for entrepreneurship in the most vulnerable families of Medellín. These families are identified through a cluster analysis which allows to

characterize a specific group of people. Then, the characteristics of these families are simulated through a system dynamics model to observe their behavior of income, education and life expectancy in the medium and long term, concluding that improvements in entrepreneurship policies imply higher levels of development and lower poverty rates

Keywords: development, entrepreneurship, families, poverty, system dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

La pobreza es un fenómeno que han tenido que enfrentar todas las naciones dentro de la historia de sus economías, convirtiéndose en mayor o menor medida en un fuerte obstáculo en su tarea de alcanzar altos niveles de desarrollo. Entre las acciones más implementadas por los gobiernos para incrementar el nivel de desarrollo de sus comunidades está la liberación comercial, la cual ha traído consigo una serie de ventajas, pero al mismo tiempo, ha generado y agudizado problemas estructurales, especialmente en los países en vía de desarrollo. En cuanto a las ventajas de la liberación, Stallings [17] mencionó que los principales logros del proceso de apertura consistieron en: permitir mayor acumulación de capital, fomentar la inserción a mercados más grandes, incrementar la competencia de diferentes bienes y servicios, y en la entrada de más inversionistas extranjeros, entre otros.

Sin embargo, también pone en manifiesto todas aquellas consecuencias generadas por la globalización y la liberación en los países subdesarrollados, señalando la agudización de la pobreza, el incremento de la desigualdad, el aumento inimaginable de los niveles de desempleo y el inicio de la inestabilidad financiera. Afirma, además, que las medidas adoptadas en las décadas pasadas olvidaron los problemas sociales marginándolos del análisis tradicional. No obstante, estudios del Banco Mundial, como los presentados por Dollar y Kraav [8] y [9], y Rodríguez y Rodrik [15]; evidencian que el crecimiento y la expansión de mercados han permitido la reducción de la pobreza medida desde los ingresos, pues la inversión extranjera directa y de cartera ha aumentado notablemente.

En Colombia, aunque la pobreza ha disminuido, aún persiste y con niveles preocupantes; así lo demuestra el Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas -NBI-, construido por el DANE para Colombia, sus departamentos y regiones a partir de los resultados censales. La Figura 1 muestra el importante descenso que ha tenido este índice a lo largo del último cuarto de siglo, pasando en 1973 de un valor de 70,5% de personas que viven en situación de pobreza, a un total de 27,7% en el año 2005. Para el caso específico de Antioquia y Medellín, en 1993 el índice era de 30,95% y 16,08%, en su orden; mientras que para 2005 había caído a niveles de 23% y 12,42% respectivamente [6].

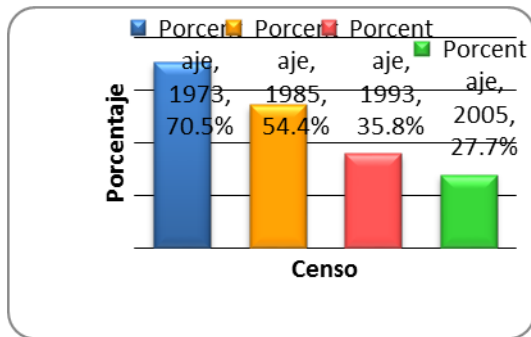


Figura 1. Porcentaje de personas que viven en hogares con NBI. Total Nacional

Fuente: [5].

Esto da cuenta del éxito de la inversión pública en asegurar las dotaciones básicas de la población. Sin embargo, cuando se utilizan indicadores más complejos se encuentra que la pobreza es persistente. Entonces, se hace indispensable no sólo retomar el debate de la pobreza y todo lo que conlleva, sino, también, redefinir las estrategias de solución de esta problemática y mejorar así los índices y superar los

niveles actuales de desarrollo del país y la región. Se ha encontrado evidencia de que el emprendimiento, entre otras cosas, es clave para superar los niveles de pobreza e impulsar el desarrollo de los países y las regiones.

De esta manera se pretende evidenciar los efectos de las políticas de emprendimiento en las familias de Medellín atrapadas en círculos de pobreza. Para ello, se plantea en la Sección 2 el impulso del emprendimiento, como una propuesta alternativa que se aproxime a la solución de esta problemática. Estas ideas teóricas son representadas en la Sección 3 a través de un modelo en Dinámica de Sistemas que permite abordar el problema de forma agregada, así como planear y evaluar diferentes políticas de emprendimiento para la solución de la pobreza. Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones.

2. UNA FORMA ALTERNATIVA DE ANALIZAR EL DESARROLLO Y LA POBREZA

Sen [16] afirma que "... la falta de libertad económica puede alimentar la falta de libertad social, de la misma forma que la falta de libertad social o política también puede fomentar la falta de libertad económica". Se vislumbra, entonces, un círculo vicioso que impide a las sociedades salir de su estado de pobreza; la pregunta es, ¿cómo se puede romper este ciclo vicioso y alcanzar un mejor nivel de desarrollo? Una solución para ello consiste en modificar el sistema de intencionalidades de los individuos y las instituciones en un sentido de interacción conjunta como respuesta a la problemática de la pobreza [14]. En este sentido, se propone un mayor fomento al emprendimiento, de manera que se logre la inclusión de toda la sociedad en el aparato productivo.

En esta línea, se han presentado trabajos que muestran la importancia del emprendimiento en el desarrollo de las sociedades. Gómez [12] muestra la transformación y la articulación de las sociedades cuando se materializan ideas emprendedoras, las cuales desatan efectos interrelacionados que se traducen en más empleo, mayores ingresos, expansión de mercados, industrialización, entre otros, los cuales impulsan estados de mayor desarrollo. Esta hipótesis fue ilustrada empíricamente por Aparicio [3] a través simulaciones experimentales para Colombia, en las cuales mostró que la creación de empresas genera empleo, obliga a los países a especializarse en productos específicos y a buscar

mercados externos, conllevando a mayores niveles de competitividad, y por consiguiente, de desarrollo.

Por su parte, Velilla [18] resalta la importancia del emprendimiento social para apoyar aquellas familias que cuentan con bajos niveles de educación y otras barreras para insertarse en el mercado laboral. El emprendimiento social es clave para la generación de sus propios ingresos, y posteriormente para la de su bienestar.

Otros autores han trabajado la importancia del emprendimiento en el crecimiento y desarrollo de los países y las sociedades. Sin embargo, pocos han trabajado desde una perspectiva sistémica. El punto de partida fundamental es la capacidad de generación de bienestar de un individuo y de una comunidad. Se parte de comprender la existencia del individuo y de la comunidad como un proceso de flujo continuo y en desequilibrio permanente de generación y disfrute de bienestar.

El Centro de Estudios en Economía Sistémica – ECSIM– [10], Álvarez y Urbano [2] y Aparicio [3] han abordado esta pregunta llegando a una conclusión compartida: el emprendimiento es uno de los motores principales del desarrollo, tanto de los hogares como de las economías. En este sentido, se busca evidenciar los efectos del emprendimiento en las familias de Medellín inmersas en “trampas de pobreza”. La aproximación al problema más útil y proactiva es ver la pobreza como un estado de un sistema social que es incapaz de generar bienestar. Desde esta perspectiva, se evidencia de inmediato la necesidad de emprender un proceso estructural de construcción y transformación de las capacidades sociales.

Tal y como lo menciona De Franco [4]:

“Pobreza no es insuficiencia de ingresos, sino insuficiencia de desarrollo. Como el desarrollo no es sinónimo de crecimiento económico ni es el resultado directo de la oferta de servicios estatales, la pobreza –y, de una manera más amplia, la exclusión social–, no puede ser adecuadamente enfrentada apenas con políticas de distribución de renta o con las denominadas políticas sociales (...) Contrariamente a lo que suele creerse, la pobreza no es un problema puramente económico, de falta de crecimiento, ni es un problema de falta de oferta eficiente y suficiente de servicios estatales. La pobreza, en sintonía con lo que nos dijo Amartya Sen, es una falta de capacidad de desarrollar potencialidades y, podríamos agregar, de aprovechar oportunidades. Planteando el problema

de otra manera, cabe reconocer, en primero lugar, que todo desarrollo es desarrollo social”.

Esta discusión, que permite presentar las dinámicas al interior de la economía, introduce una conceptualización del desarrollo económico que se podría expresar de la siguiente manera: El desarrollo es un estado de los individuos y las organizaciones sociales, en el que se tiene una determinada capacidad de integrarse a la generación y el disfrute del bienestar. Es un proceso de aprendizaje social permanente de cómo integrarse para hacer más y construir mejores estados de convivencia y bienestar. Bajo este enfoque, el desarrollo se construye desde: la integración social de los individuos a la generación y el disfrute del bienestar, las empresas y las demás organizaciones sociales como núcleos de los procesos de generación, la apertura de mercados de mayor valor agregado y la inversión como proceso de reproducción social.

El problema central en este enfoque de lucha contra la pobreza es la construcción de una integración sostenible de los individuos a la vida económica y social. El propósito es actuar sobre las familias para que ellas sean autónomas y capaces de generar bienestar para ellos y para la comunidad en donde habitan. Se trata de construir organizaciones sociales capaces de vincular a los individuos a la elaboración de bienes y servicios de valor, es decir, se trata de crear empresa. Esto supone un rol de Estado radicalmente distinto: menos asistencialismo y más capacidad de promover el desarrollo social desde la creación y consolidación de empresas éticas y competitivas.

La evidencia desde el pensamiento moderno sobre la pobreza y el desarrollo sugiere que es desde la articulación real y sostenible de las familias en la generación de bienestar que se soluciona de manera cierta el problema de la distribución y desarrollo. No es desde el Estado desde donde se construye la igualdad. Es así como se aproxima a un esquema de discusión constructivo que analiza los comportamientos socioeconómicos de los individuos y de las empresas concibiéndolos como procesos de flujos continuos de generación y consumo de bienestar. Estos procesos de flujo continuo se representan y simulan con modelos de Dinámica de Sistemas, tal y como se presenta en la siguiente sección.

3. DINÁMICA DE SISTEMAS COMO METODOLOGÍA ALTERNATIVA

La Dinámica de Sistemas, metodología que se usa en el Pensamiento Sistémico y de manera más general en la Teoría de Sistemas, permite hacer cálculos con pocas series de datos, pues una de sus bondades consiste en endogenizar gran parte de los elementos que la integran, necesitando únicamente un dato semilla. El objeto de la Dinámica de Sistemas es la modelación continua de sistemas complejos, a través de una serie de ecuaciones diferenciales de orden superior, para capturar los procesos de retroalimentación entre las variables que los conforman. Por tanto, es útil para emular y simular las dinámicas y estructuras sociales basadas en interrelaciones de múltiples variables, con el fin de obtener como resultados comportamientos futuros, los cuales sirven para proponer y evaluar políticas que corrijan los patrones observados. La finalidad es poder conocer el comportamiento tanto del sistema modelado, como de sus variables importantes, de manera que se puedan generar escenarios de intervención.

Un ejemplo de su utilización en sistemas socioeconómicos es Threshold 21, un modelo de sociedad, economía y medio ambiente, empleado para simular diferentes países, desarrollado por El MilleniumInstitute [13].

Los procesos evolutivos de las familias y sus características socioeconómicas son sistemas que encajan apropiadamente dentro de los objetivos de la Dinámica de Sistemas, la cual a su vez genera un nuevo punto de análisis al estudio de la pobreza en las familias de Medellín.

3.1. LOS DATOS USADOS

Para identificar las familias que se encuentran en estado de pobreza se procesó la Encuesta de Calidad de Vida 2007 de Medellín [1]. La encuesta capta una serie de características de las familias de la ciudad, entre las que se encuentran desde los materiales que componen las viviendas (paredes, pisos, servicios sanitarios, agua, y energía), pasando por diferentes bienes y servicios que adquieren los hogares (electrodomésticos, tipo de vehículo, educación, salud, entre otros), hasta la conformación del hogar, o sea, número de personas, tipo de jefe de hogar, y una cantidad de variables que dan cuenta cómo están conformadas.

A los datos de la encuesta se les realizó un proceso de clusterización que permitió agrupar a los individuos según características socioeconómicas. El análisis de clúster es una técnica de reducción de datos, la cual tiene por objeto la identificación de un pequeño número de grupos, de tal manera que los elementos dentro de cada grupo sean similares respecto a sus variables, y muy diferentes de los que están en otros grupos [7]. Según Díaz [7] los propósitos de este tipo de análisis son:

- La identificación de una estructura natural en los objetos, es decir, el desarrollo de una tipología o clasificación de los elementos analizados.
- La búsqueda de esquemas conceptuales útiles que expliquen el agrupamiento de algunos objetos.
- La formulación de hipótesis mediante la descripción y exploración de los grupos conformados.
- La verificación de hipótesis o la confirmación de estructuras definidas mediante otros procedimientos.

3.2 TIPOLOGÍAS

A partir de la clusterización de los datos de la encuesta se generaron conglomerados de familias que poseían características similares y que a su vez eran mutuamente excluyentes. Las tipologías son familias representativas de la ciudad de Medellín, las cuales están dadas por un conjunto de características tanto cualitativas como cuantitativas. La variable que dio origen a cada tipología fue el tipo de jefe de hogar, y alrededor de ella, se analizaron variables como tamaño del hogar, ingreso del hogar, número de electrodomésticos en el hogar, hacinamiento, estado civil, escolaridad, tipo de empleo, tipo de vivienda, estrato socioeconómico, y afiliación a salud y pensiones. Con esta información, se obtuvieron 11 conglomerados (tipologías de familias) resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tipologías familiares en la ciudad de Medellín.

Descripción	N	%
Viejitos Bien, Adultos Mayores Acomodados	872	4.27
Solteras, Separadas y Viudas de Alto Ing.	762	3.73
Casados de Alto Ingreso	905	4.44
Trabajadores, Casados Ingreso Medio, Educación Media	6.579	19.39
Solteras, Viudas, Separadas, Ingreso Medio, Trabajadoras	896	4.39
Viudas y Separadas Maduras	1.301	6.38
Mujeres Adultas Mayores, Solas, Ing. Medio	1.799	8.82
Solteras, Viudas, Separadas de Bajo Ingreso y Formación	2.699	13.23
Jubilados de Ingreso Medio	1.505	7.38

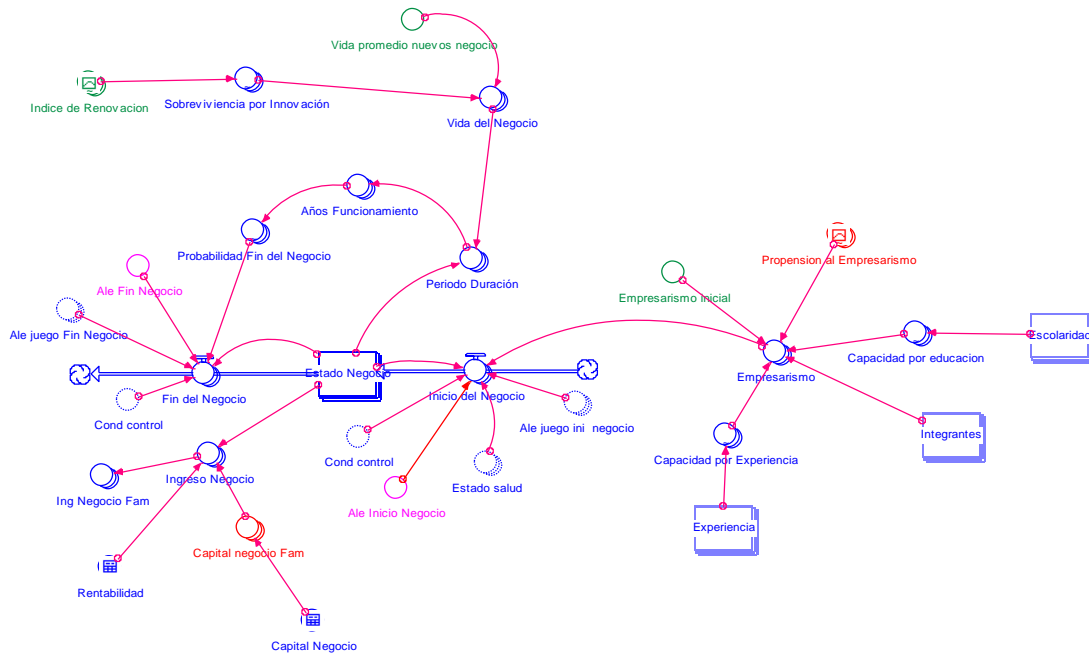


Figura 3. Diagrama Forrester - Emprendimiento

Fuente: [11].

El modelo presenta una variable que permite generar diferentes escenarios, la cual consiste en la política de empresarismo. Dicha estrategia, contemplada en el Plan Municipal de desarrollo 2008-2011, tiene la intención de incrementar la propensión a formar empresa. Esto se logra a través de iniciativas como Cultura E, en donde se capacita a las personas para la formulación de sus proyectos, y se les hace una capacitación permanente, inclusive después de haber creado la empresa. A su vez, esta iniciativa asesora la forma para la consecución de fondos financieros; factor bastante determinante en aquellas poblaciones con bajos niveles de ingreso. Como se observa en la Figura, esta política pasa de 0,2 a 0,4.

La construcción del modelo permitió observar el comportamiento de las familias de acuerdo a su ingreso, esperanza de vida y escolaridad, las cuales están impulsadas por cambios en las políticas de emprendimiento. En la Figura 5 se logra observar en las gráficas que los ingresos de la familia mejoran con la implementación de políticas, todo esto se explica con la generación de empleo, formalización de lo informal y, sobre todo, con el desarrollo de capacidades para el Empresarismo y la creación de oportunidades para tal propósito, como está contemplado en el plan de desarrollo. Siendo el Empresarismo tema primordial de esta administración. También se presenta un conjunto de gráficas que muestran la evolución de variables igual de importantes al ingreso para medir el impacto de las políticas del plan de desarrollo en el mejoramiento de la calidad de vida y por ende la reducción de pobreza.

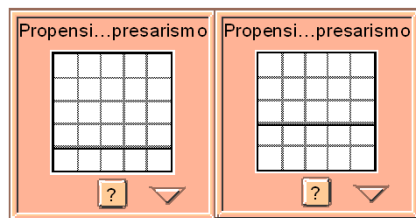


Figura 4. Diagrama Causal - Emprendimiento

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se observa cómo la línea de color rojo (con políticas) es superior a la línea azul (sin políticas) para los indicadores mostrados. Ingresos, esperanza de vida, escolaridad de la madre. Con lo cual se concluye sobre el impacto positivo de las políticas de emprendimiento del plan de desarrollo 2008-2011 sobre el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos de Medellín.

4. RESULTADOS

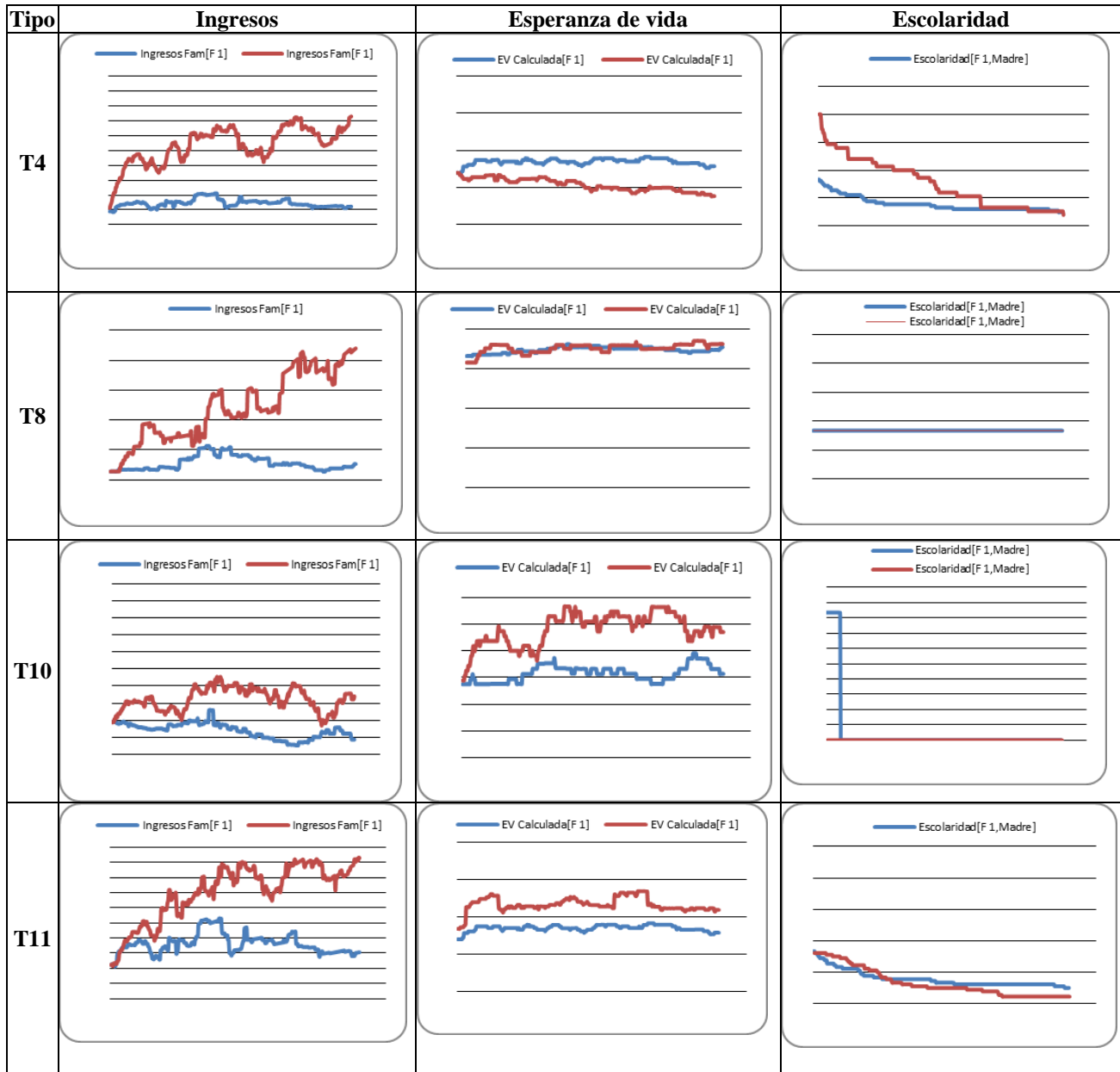


Figura 5. Indicadores de mejoramiento de la calidad de vida

Fuente: [11].

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Municipio de Medellín ya ha venido integrando esta nueva visión de desarrollo a su construcción de futuro. Muestra de ello son los programas establecidos en el Plan Municipal de Desarrollo 2008-2011. Lo anterior es consistente desde una concepción del desarrollo construido desde los individuos y sus organizaciones sociales. Esta propuesta no es un concepto conocido o interiorizado de manera amplia y sobre todo dentro de aquellos grupos con mayor grado de marginalidad.

Se debe emprender un proceso de pedagogía social dirigido a la apropiación del desarrollo social desde cada individuo y comunidad que re-signifique el papel del empresario como gestor social y de la ética empresarial como base cultural del desarrollo.

Los escenarios evaluados en el modelo permiten observar que en el mediano y largo plazo las políticas de emprendimiento son la clave que ayuda a romper las trampas de pobreza y exclusión social. El resultado de

esto permitirá la generación de empleos y la especialización productiva (siguiendo los lineamientos de Gómez [12] y Aparicio [3], lo cual llevará a estados mejores de desarrollo. La pregunta que queda es: ¿Qué debemos aprender, emprender e innovar para lograrlo?

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcaldía de Medellín (2007). Encuesta de Calidad de Vida –ECV–. Medellín.
- [2] ÁLVAREZ, C. & URBANO, D. (2009). Entorno y actividad emprendedora. Un enfoque de Dinámica de Sistemas. 7° Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas y el 7° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Santa Marta.
- [3] APARICIO, S. (2010). Efectos de la creación de empresas en el desarrollo: aplicación de un modelo de Dinámica de Sistemas para la evaluación de políticas de fomento empresarial en Colombia. Tesis de pregrado (Economía). Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Antioquia, Medellín.
- [4] DE FRANCO, A. (2002). “¿Por qué precisamos de un desarrollo local y sostenible?”. Revista Instituciones y desarrollo local.
- [5] Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE– (2006a). Boletín Censo General 2005: Necesidades Básicas Insatisfechas. Bogotá D. C.
- [6] _____ (2006b). Datos históricos de Necesidades Básicas Insatisfechas. Bogotá.
- [7] DÍAZ, L.G. (2002). Estadística multivariada: inferencia y métodos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias: Departamento de Estadística. 1° ED. Bogotá: La Universidad.
- [8] DOLLAR, D. y KRAAY, A. (2001a). Growth is good for por. World Bank, Working Paper No. 2587. Washington.
- [9] _____ (2001b). Trade, Growth and Poverty. World Bank, Working Paper No. 2615. Washington.
- [10] Economic Center for Simulation and Modeling – ECSIM– (2005). Pobreza y equidad: una estrategia para la inclusión desde el empresarismo. Gobernación de Antioquia, Medellín.
- [11] _____ (2008). Actualización, adecuación y modificación del micromundo para la planeación de políticas de intervención social en las comunas de la ciudad de Medellín como herramienta de apoyo al seguimiento del plan de desarrollo 2008-2011. Una aplicación de economía sistémica fundamentada en modelos de simulación de Dinámica de Sistemas. Medellín.
- [12] GÓMEZ, D. (2005). “Repensando el desarrollo. Una aproximación sistémica”. Centro de Estudios de economía sistémica.
- [13] Millenium Institute (2009). Threshold 21. [internet site] available in: http://www.millenniuminstitute.net/integrated_planning/tools/T21/T21_sf.html
- [14] North, D. (2005). Understanding the Process of Economic Change. Princeton University Press, New Jersey.
- [15] RODRÍGUEZ, F. y RODRIK, D. (2000). Trade Policy and Economic Growth: A Skeptic’s Guide to the Cross-National Evidence. NBER, Cambridge-Massachusetts.
- [16] SEN, A. (1999). Development as a freedom. Random House, Inc. New York.
- [17] STALLINGS, B. (2001). Globalization and Liberalization: The impact on developing countries. En: Serie Macroeconomía del Desarrollo N° 4, CEPAL, Santiago de Chile.
- [18] VELILLA, Jaime. (2009). Empresarismo social. Documento mimeo.

Simulaciones de crecimiento económico colombiano con Dinámica de Sistemas

Colombian economic growth simulations with system dynamics

Diego Fernando Gómez, Ph.D., Sebastián Aparicio, B.A

Fundación ECSIM

direccion@ecsim.org, ecsim@ecsim.org

Resumen: Una de las variables más estudiadas para observar el desempeño económico de los países es el Producto Interno Bruto –PIB–. A partir de lo que se observa en la tasa de crecimiento del PIB, los hacedores de política formulan e implementan diferentes estrategias para corregir su comportamiento de subidas o bajadas. Estas fluctuaciones son las que constituyen los ciclos económicos de los países, los cuales son complejos de replicar y simular hacia adelante. En este sentido, es que la Dinámica de Sistemas es importante para la modelación del ciclo económico el cual es el resultado de la interacción entre los agentes de la economía. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo es ilustrar posibles comportamientos del PIB y las variables asociadas a él (desempleo, consumo e inversión), útiles para la planeación y formulación de estrategias de largo plazo.

Palabras clave: crecimiento económico, macroeconomía, Dinámica de Sistemas

Abstract: One of the variables most studied to observe the economic performance of the countries is the Gross Domestic Product –GDP–. From what is observed in the growth rate of the GDP, the politics makers formulate and implement different strategies to correct his increases behavior or lowered. These fluctuations are those who constitute the business cycles of the countries, which are complex of emulating and simulating forward. In this sense, the fact is that the system dynamics is important for the modeling of the business cycle which one is the result of the interaction between the agents of the economy. Consequently, the objective of this work is to

illustrate possible behaviors of the GDP and the variables associated with it (unemployment, consume and investment), useful for the planning and formulation of long term strategies.

Key words: economic Growth, macroeconomics, system dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

La economía tradicional analiza los problemas económicos de forma aislada y no tiene en cuenta las múltiples relaciones que se dan entre los diferentes factores que la componen [1]. Sin embargo, el crecimiento económico debe pensarse y analizarse de forma holística para comprender el funcionamiento del fenómeno a estudiar. Una vez conocido y entendido el problema se puede pensar en llevarlo a estados mejores.

Las estrategias o políticas sociales y económicas buscan mejorar (en el corto, mediano y largo plazo) los estados actuales de crecimiento y desarrollo. Una forma práctica de diseñar y evaluar cualquier estrategia o política consiste en observarla en el tiempo a través de técnicas de simulación. Estas herramientas no sólo permiten ahorrar tiempo y recursos financieros, sino que también generan un conocimiento permanente de la realidad que se está modelando.

Por esta razón, la simulación dinámica, la simulación basada en agentes, la simulación discreta y la simulación de sistemas dinámicos se convierten en poderosas herramientas para los gerentes, presidentes o hacedores de políticas, ya que les permite tomar

decisiones a través de los efectos que se podrían dar en distintos escenarios futuros.

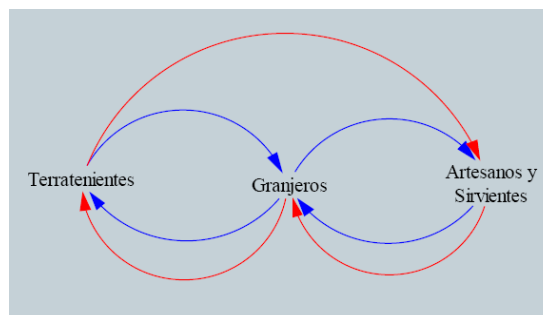
Por tanto, el objetivo de este trabajo es ilustrar posibles comportamientos del PIB y las variables asociadas a él (desempleo, consumo e inversión) a través de un modelo de Dinámica de Sistemas, el cual permite agregar las decisiones de los agentes y ver sus comportamientos (reflejados en el PIB) de forma dinámica.

Para ello, aparte de esta introducción, el trabajo contiene un marco teórico que resume la evolución que ha tenido la ciencia económica para la medición del PIB y su crecimiento (Capítulo 2). El Capítulo 3 describe el modelo apoyado en el esquema de flujo circular, para luego mostrar los resultados en el Capítulo 4, que contiene la descripción de escenarios y las simulaciones. Por último, el Capítulo 5 concluye.

2. MARCO TEÓRICO

Desde los autores antiguos en economía se ha pensado en la medición de la riqueza nacional y su evolución en el tiempo. Por ejemplo, Mun [2], entre otros mercantilistas, pensaba en el intercambio comercial como medio para aumentar la riqueza de los países, por lo que tenían mecanismos simples que sumaban la cantidad de oro que entraba por medio de las exportaciones.

Un siglo después, aparecen los aportes de Quesnay y su tabla económica, la cual empezaba a esquematizar el comportamiento económico bajo la premisa de que el crecimiento económico era fruto de la tierra y su trabajo, pues éste era la única fuente que generaba riqueza [3]. Por consiguiente, reducía el comportamiento económico y las relaciones inmersas allí con la representación de tres agentes: Terratenientes, granjeros y artesanos y sirvientes. Los primeros eran los dueños de la tierra, mientras los segundos la trabajaban para generar valor agregado; y los artesanos y sirvientes eran la clase artesanal y comercial, que servía como cadena de distribución en aquella época (ver **Figura 1**). Dicha interacción comenzaba a ser cuantificada por medio de la tabla económica, cuyo resultado reflejaba el valor agregado en los artesanos, ya que los terratenientes sólo eran rentistas, mientras que los comerciantes (artesanos y sirvientes) se encargaban de distribuir el producto.



Fuente: Landreth y Colander, 2006

Figura 1. Tabla Económica de Quesnay convertida en diagrama circular

Dichos planteamientos fisiócratas fueron usados por Adam Smith [4] en la obra considerada la base de la economía moderna. A diferencia de Quesnay, Smith decía que el valor agregado lo imprimían los trabajadores especializados en una actividad, y que su salario dependía de su eficiencia. Por su parte, los dueños del capital físico captaban la renta para luego cubrir los gastos de operación (salarios, insumo y depreciación) e iniciar nuevamente el ciclo de producción.

El andamiaje teórico propuesto por Smith sirvió para ilustrar de forma ordenada y coherente la coyuntura social de la época que enfrentaba una oleada de industrialización. El papel preponderante en este contexto lo jugaba el sector industrial, puesto que atraía a la clase campesina a las grandes fábricas para insertarla en el aparato productivo.

La dinámica repetida una y otra vez sirvió como marco de referencia para el desarrollo de posteriores teorías, tanto macro como microeconómicas. Por el lado micro, se desprendió una vertiente que se enfocaba en el análisis de las decisiones individuales. Por el lado macroeconómico, aparecen las teorías Keynesianas, de crecimiento endógeno y monetaristas. A partir de allí, engloban factores que son usados en la medición del producto nacional, y cuyo resultado es usado para observar la variación de la producción (comúnmente conocido como macroeconomía dinámica).

Los factores derivados de los diferentes postulados teóricos dieron respuesta a los interrogantes sobre los determinantes de la producción y por consiguiente del crecimiento económico. Surgieron entonces tres aproximaciones a la contabilidad nacional: a) la renta o remuneración a los asalariados, b) la oferta o valor agregado y c) la demanda de bienes y servicios de una economía. Las tres formas de medición son consideradas identidades macroeconómicas que reflejan el tipo de estructura económica de los países.

La identidad macroeconómica usada con mayor frecuencia en la contabilidad nacional por su simplicidad está expresada en la ecuación 1, la cual muestra el comportamiento económico desde el lado de la demanda. El modelo que se plantea en este trabajo tiene este enfoque de demanda, pues la literatura ha evidenciado que la Ley de Say (la cual defiende la tesis de que la oferta crea su propia demanda) no se cumple para todos los mercados. Uno de los autores que más se resalta en este aspecto es Keynes [5] quien demostró que la oferta de trabajo no será absorbida en su totalidad por las empresas o demandantes de fuerza laboral.

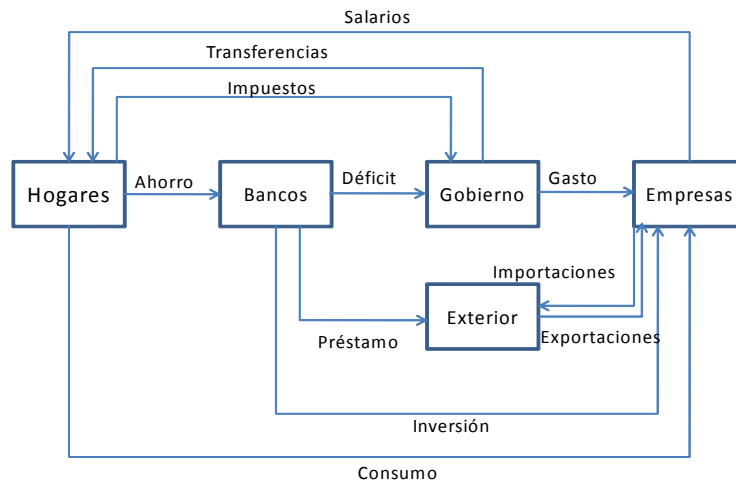
$$Y = C + G + I + (X - M) \quad (1),$$

Donde, Y es el producto, C el consumo de los hogares, G el gasto del gobierno, I inversión, X exportaciones y M importaciones.

El modelo de flujo circular presentado en Mankiw [6] al igual que otros textos guías de economía, presenta esta identidad esquematizada en un modelo de flujo

circular. Inicialmente se muestran dos actores (Hogares y Empresas) los cuales conversan de dos formas distintas. Por un lado, las empresas pagan los salarios a las familias, el cual sirve para la compra de bienes y servicios producidos por las empresas; y por otro lado, las familias son dueñas de la fuerza de trabajo y el capital, el cual es absorbido por las empresas como insumo para la producción de bienes y servicios.

Como modelo general, reduce el comportamiento económico a dos actores claves. No obstante, Mankiw va introduciendo más actores para lograr un esquema más robusto que refleje el comportamiento económico, tanto interno como externo. Aparece, por tanto, el Estado, quien gasta en transferencias y consumos de bienes y servicios; a su vez, entran en acción los bancos quien soporta los déficit públicos y las inversiones de las firmas; y por último, el sector externo, quien compra los productos internos reflejados en las exportaciones del país, y vende sus bienes expresados en las importaciones (Ver **Figura 2**).



Fuente: Mankiw, 2002.

Figura 2. Modelo de flujo circular en una economía abierta con sector público.

Este esquema de flujo circular enseña el balance que se debe presentar en la economía para lograr un crecimiento armónico y sostenido, por lo que los flujos de entrada y salida deben equilibrar el comportamiento de los agentes, por un lado; y por otro, resalta la importancia del ahorro (y el adecuado funcionamiento de la banca central y los bancos comerciales), el cual soporta una de las variables más importantes que determina el crecimiento económico: la inversión.

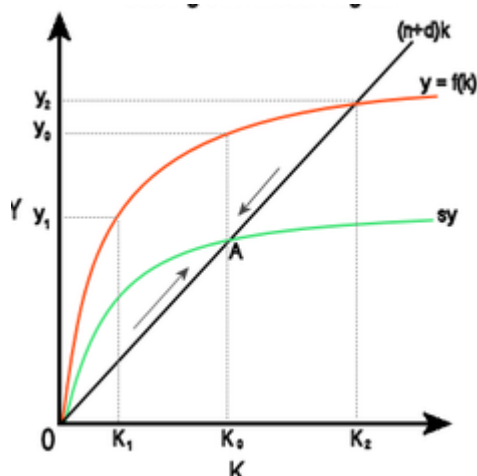
Las teorías de crecimiento, desde su inicio con el modelo AK, señalaban que el factor preponderante era la inversión sostenida por el ahorro total de la economía. Posterior a este modelo, y como principal aporte al debate del crecimiento, aparece Solow [7] con el modelo de crecimiento endógeno el cual se expresa en la ecuación 2

$$Y = AK^\beta L^{(1-\beta)} \quad (2),$$

Donde Y es producción, A factor endógeno (tecnología), K capital y L trabajo. La ecuación 2 sufre una transformación logarítmica para observar la evolución del producto en el tiempo. Ver ecuación 3.

$$\ln Y = \ln(A) + \beta \ln(K) + (1-\beta) \ln(L) \quad (3).$$

Suponiendo rendimientos constantes a escala, el modelo de Solow dice que las economías tienen un crecimiento que se limita en una asíntota llamada estado estacionario (Ver Figura 3). En el punto más alto de la curva, dice la teoría, es donde el crecimiento presenta menores tasas, pero grandes cantidades de bienes y servicios producidos, expresados en dinero constante.



Fuente: Solow, 1956.

Figura 3. Representación gráfica del modelo de crecimiento de Solow.

A partir de allí surgen inquietudes tales como ¿las economías no pueden aprender o innovar constantemente? ¿En caso de planeación o formulación de políticas económicas que le apunten al crecimiento económico, cómo podrían verse reflejadas en el tiempo y en el futuro? Precisamente, este tipo de preguntas trata de responder este trabajo usando un modelo que rompe el supuesto de rendimiento constante de escala y muestra las diferentes fluctuaciones que podrían tener las economías como respuesta a la intervención pública o privada.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO

Los fenómenos económicos han sido concebidos por la teoría económica tradicional como modelos de equilibrio parcial, y posteriormente de equilibrio general, donde se parte de la idea de una igualdad

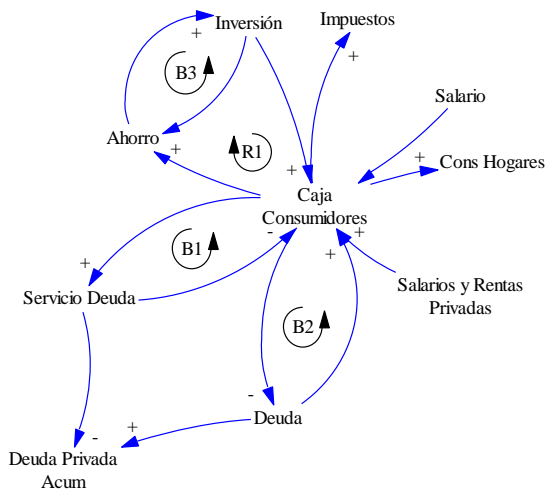
entre oferta y demanda para todos los mercados que puedan existir en una economía (o al menos para todos exceptuando uno).

Con la Dinámica de Sistemas se muestra que es posible comprender la economía como un sistema de flujos continuos y en permanente desequilibrio. El modelo que acá se presenta contiene los tres actores básicos del esquema de flujo circular. A saber, están las familias, representadas en la caja de los consumidores; el gobierno, y las empresas (llamado Sistema de Generación de Bienestar, SGB). Todas ellas se apoyan en la caja del sistema monetario, el cual representa la banca comercial que genera el flujo de dinero expresado ya sea en ahorros, inversión, déficit o deuda privada.

Por ende, el dinero es considerado un contrato al portador que permite realizar transacciones entre los diferentes agentes de la economía. Dichos procesos financieros generan una serie de flujos interdependientes que son alimentados por el SGB, el gobierno, y los hogares. Ahora bien, cada uno de estos agentes representativos de la economía posee su propia dinámica que finaliza en el consumo de bienes y servicios producidos por el SGB, iniciando de nuevo el ciclo que se repite una y otra vez.

3.1 CAJA DE LOS CONSUMIDORES

La caja de estos agentes hace referencia al balance financiero entre sus ingresos y sus egresos, es decir, es una variable que percibe los ingresos obtenidos por los consumidores, los cuales son provenientes de los salarios fruto de su trabajo, de las rentas y los préstamos a lo que recurren (Ver figura 4). Los salarios y las rentas dependen directamente del nivel de producción y las ventas del sector real, y de los salarios pagados por el gobierno (en el caso de trabajadores públicos); en pocas palabras, del estado de la economía del país. Su cálculo está ligado a las participaciones (*mark-up*) de los salarios y las rentas en la generación del producto y por las políticas fiscales [8].



Fuente: Elaboración de los autores

Figura 4. Diagrama Causal de la caja de los consumidores.

Los préstamos están determinados por la necesidad de efectivo y el nivel de endeudamiento admisible en la economía. Dichos procesos de endeudamiento están limitados por elementos como: el plazo, el nivel de caja y la tasa de interés. La caja de los consumidores posee un nivel de caja objetivo. Cuando la caja sobrepasa el nivel de la caja objetivo, los consumidores están ilíquidos y requieren acceder a préstamos para mantener un nivel cercano al objetivo, o incluso, para destinarlo a sus gastos, dependiendo de lo crítico de la situación. La tasa de interés determina el costo de servicio de las deudas adquiridas y además, la capacidad de endeudamiento, la cual es una medida de la capacidad futura de pago. Una tasa de interés alta, aumenta el valor de los pagos de la deuda, aunque aumenta la intención de ahorro de los individuos, y por ambas razones, reduce su capacidad de consumo [8].

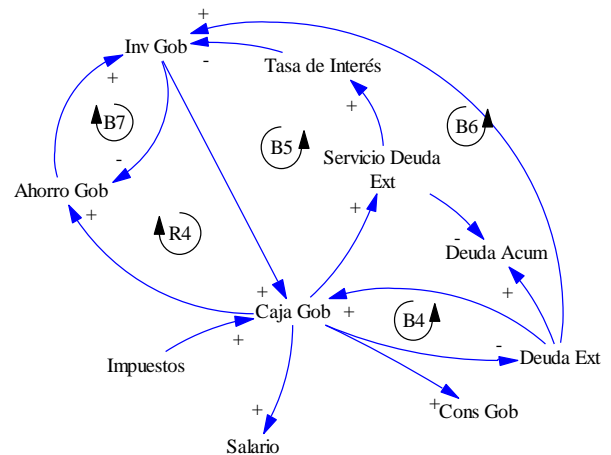
Dichos ingresos son destinados al servir sus egresos, como lo son el pago de impuestos, el servicio de la deuda adquirida, y por supuesto, la compra de los bienes y servicios requeridos (es decir, al consumo). El consumo comprende la adquisición de bienes y servicios provenientes de la producción interna, como de la extranjera. El consumo de carácter interno está determinado por las dinámicas desarrolladas en el sector real de la economía, pero además se ve afectado por la tasa de interés. En el caso del consumo externo, la tasa de cambio es un elemento que la impacta fuerte; a mayor valor de la tasa de cambio, mayor será el desincentivo a adquirir los bienes y servicios extranjero, puesto que su valor será

muy alto. Cuando los intereses son altos, las familias toman decisiones de convertir su ahorro en inversión empresarial, conocidos como Aportes de Capital [8].

3.2 CAJA DEL GOBIERNO

En su relación con los consumidores, el gobierno obtiene ingresos provenientes de los impuestos que recaudan (ver figura 5). También percibe ingresos por los impuestos a los productores (Sistema de Generación de Bienestar), por el IVA recaudado, y por los préstamos que toma. Entre los impuestos recaudados están integrados distintos gravámenes captados tanto de los consumidores y de los productores, como de la venta e importación de productos, destinados al consumo del país. El permanente financiamiento del gobierno, en el cual no se ha tenido en cuenta la emisión de dinero por sí misma, sino sus efectos, genera, finalmente, un flujo de salarios pagados a aquellos consumidores que poseen trabajos públicos, así como su consecuente aumento de la inflación [8].

Existe otra afectación sobre el consumo, determinada por el Impuesto al Valor Agregado, IVA, el cual es recaudado por los productores. También existe otro impuesto pagado por los consumidores, el cual está determinado por la tasa impositiva determinada por el Gobierno Nacional [8].



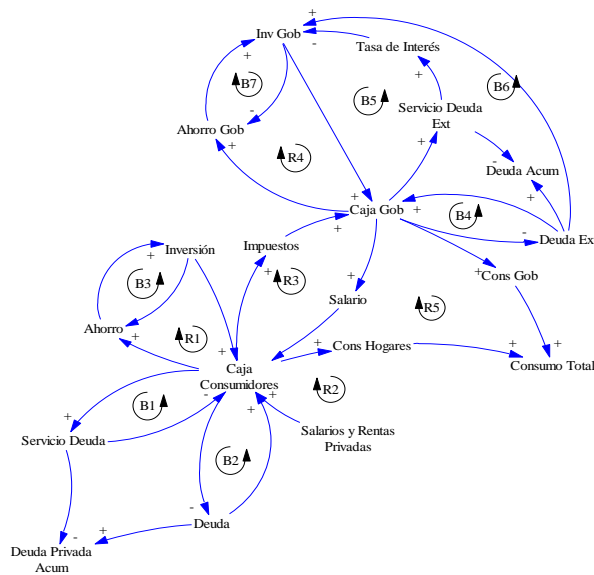
Fuente: Elaboración de los autores

Figura 5. Diagrama causal de la caja del gobierno

El Estado también tiene la capacidad de generar ingresos a través del acceso a deuda, tanto de carácter pública como extranjera. Sin embargo, dichos procesos de endeudamiento generan un flujo permanente de servicio de deuda; responsabilidad ineludible, ante el cual la caja del gobierno presenta

mucha sensibilidad. Un aumento en la tasa de interés, afecta la disponibilidad de recursos estatales, los cuales deberían ser encaminados hacia el pago de salarios, consumo públicos e inversión; debido a que dicho hecho aumenta el servicio de la deuda, generando un efecto directo de la tasa de cambio sobre la economía nacional [8].

Las cajas del gobierno y de los consumidores, y los bucles generados a su alrededor, se relacionan entre

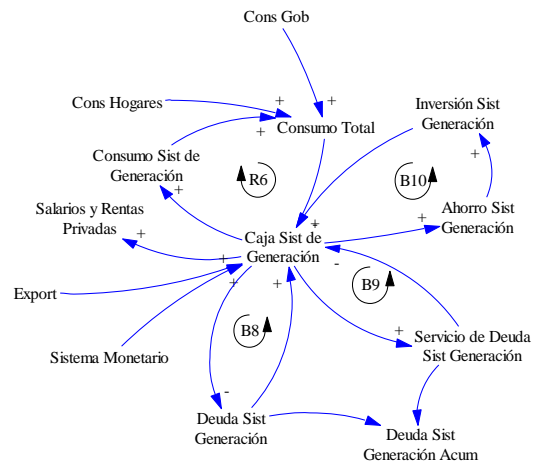


Fuente: Elaboración de los autores
Figura 6. Diagrama causal relación entre la caja de consumidores y la caja del gobierno.

3.3 CAJA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE BIENESTAR

El Sistema de Generación de Bienestar, o Sistema de generación de bienes y servicios de la sociedad, es el conjunto de todos los productores de la economía. La caja de este sistema está alterada por unos ingresos, los cuales provienen de las ventas, los préstamos a los que recurren los productores y los aportes de capital de las familias. Las ventas son intercambios realizados con los consumidores, en las cuales ellos dan su dinero ante los bienes y servicios entregados por el sistema de generación de bienestar (ver figura 7) [8].

sí, en un proceso en el cual los consumidores, específicamente los que poseen trabajos públicos, perciben salarios de su fuerza de trabajo suministrada a la nómina del Estado (ver figura 6). A su vez, los consumidores entregan los impuestos al gobierno; entrelazando las dinámicas presentadas en torno a cada uno de estos agentes [8].

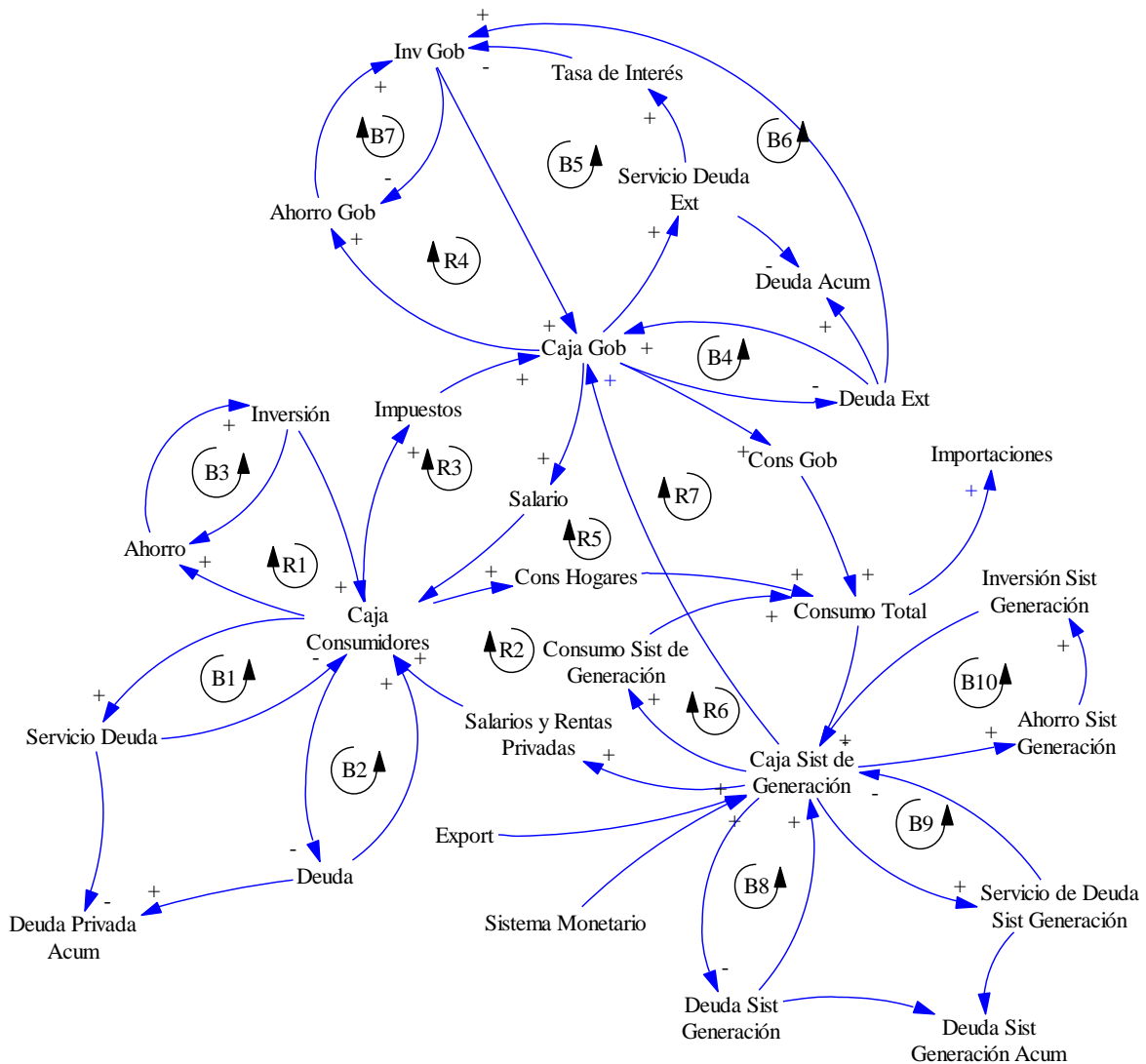


Fuente: Elaboración propia.
Figura 7. Diagrama causal de la caja del sistema de generación de bienestar.

Los egresos del Sistema de Generación se producen por fuentes como, el pago de los salarios, los pagos de las rentas en títulos valores realizadas por los consumidores (aportes de capital), que los productores emitieron para su financiamiento, los impuestos pagados al Estado, entre otras cosas, por su actividad, ventas y rendimiento, y los pagos de insumos y recursos para las inversiones [8].

Al incorporar el Sistema de Generación de Bienestar al sistema completo, se forman dos procesos más de retroalimentación, uno establecido entre la Caja del Gobierno y la Caja del Sistema de Generación, y el otro, entre la Caja de los Consumidores y el Sistema de Generación. La figura 8 presenta el Diagrama Causal completo del submodelo que incorpora las cajas de los tres agentes (Consumidores, Gobierno y Sistema de Generación), así como los bucles de retroalimentación entre ellas. El Sistema de Generación de Bienestar intercambia con los consumidores salarios por fuerza de trabajo (empleo), rentabilidad por aportes de capital, y bienes y servicios (demanda o consumo) por dinero. Con el gobierno intercambia dinero también por el consumo de sus bienes y servicios; además, aporta impuestos al gobierno. Otro proceso de retroalimentación a

través del intercambio de cajas, es la ya mencionada relación entre consumidores y gobierno, por medio de salarios, empleo e impuestos.



Fuente: Elaboración de los autores

Figura 8. Diagrama causal del Sistema de Generación de Bienestar completo.

También se aprecia un proceso de retroalimentación en el que el consumo de las familias, del gobierno y del propio Sistema de Generación forma el consumo total de la economía, el cual es abastecido por el propio Sistema de Generación y por importaciones realizadas al país. Todos estos procesos de retroalimentación mencionados anteriormente, se aprecian en el centro del Diagrama Causal (Ver figura 8).

Como puede notarse, y siguiendo el esquema de flujo circular presentado en el marco teórico, la caja del

sector externo está implícito pero tiene una función preponderante en toda la dinámica económica. El sector externo permite proveer tanto bienes y servicios como flujo monetario extranjero, de un lado, inyectando dinero como inversión extranjera, y del otro, comprando parte de la producción representada en las exportaciones.

Desde esta perspectiva se puede obtener el PIB, simular su crecimiento y diseñar estrategias que incentiven el crecimiento de los sectores y el desempeño de los agentes.

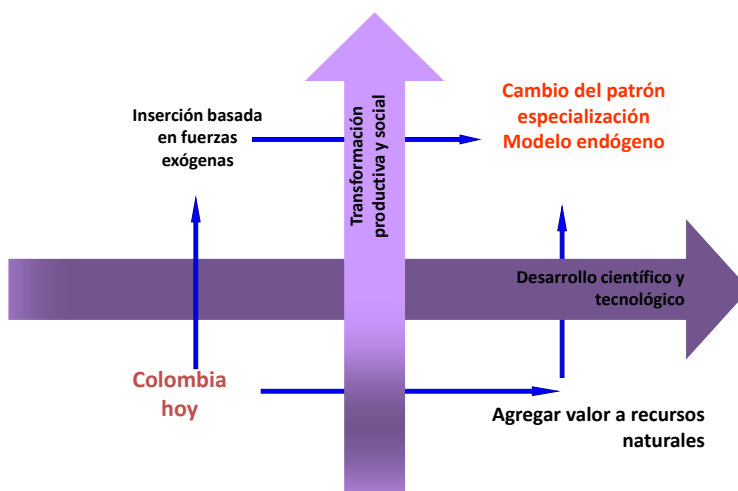
4. RESULTADOS

El modelo presentado en el acápite anterior usa los datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE [9]. Principalmente, se usaron los agregados macroeconómicos, las cuentas de los sectores institucionales (hogares, gobierno y empresas). Para el sector externo, se tuvo en cuenta la balanza comercial publicada por el DANE [9] y contrastada con aquella obtenida en las estadísticas del Banco de la República [10].

Los datos iniciales del modelo corresponden al año 2002, y se le hizo una prueba que consistía en emular el período 2002-2009 primordialmente en el

crecimiento del PIB colombiano en cinco escenarios contruidos para los posibles futuros de la economía colombiana que van hasta el 2030.

El ejercicio prospectivo para la elaboración de escenarios tuvo sus inicios con el trabajo del Departamento de Planeación Nacional –DNP– [11], el cual definieron dos ejes transversales entre sí para indicar el estado actual de economía y política colombiana y las posibles sendas futuras, de las cuales se derivan estrategias que vayan en pro del crecimiento de la economía colombiana (ver **Figura 9**).



Fuente: DNP, 2002.

Figura 9. Escenarios de transformación productiva.

Los ejes, por tanto, resumidos en la **Figura 9** contienen tanto el aspecto institucional como el aspecto de transformación productiva y cambio tecnológico. De esta forma, el escenario uno denominado “Todo va bien todo va bien”, expresión popular usada en Colombia que quiere decir que en términos generales la economía y las condiciones políticas tienen un buen desempeño, pero no logran una adecuada gestión para una transformación productiva que conlleve a un crecimiento alto y sostenido. El escenario dos, nombrado “Qué bonita es esta vida”, es la situación ideal en la que el Gobierno incentiva el progreso tecnológico e institucionalmente propicia el cambio desde la

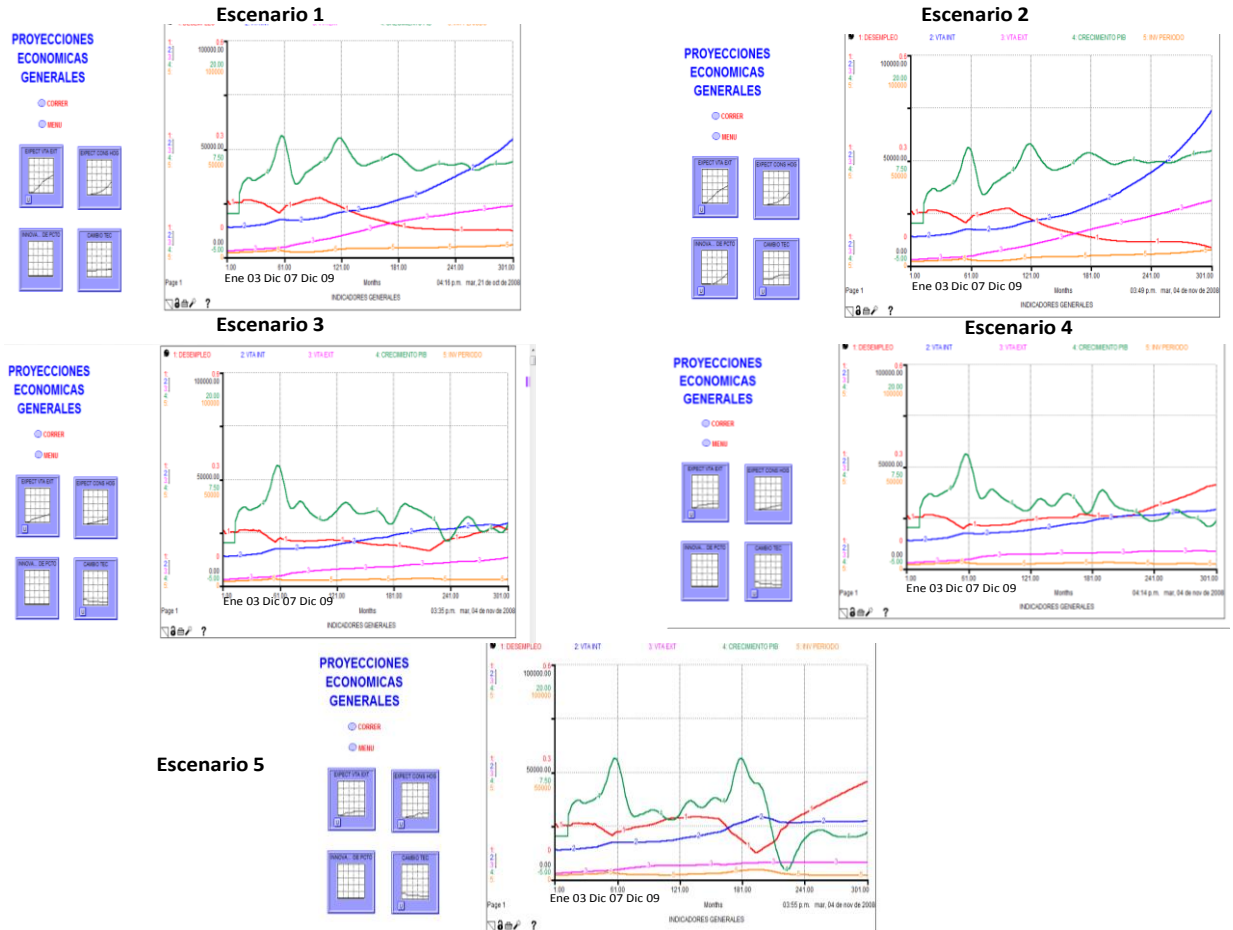
sociedad; es decir, una sociedad emprendedora y altamente innovadora. El escenario tres tiene el nombre “No sólo de pan vive el hombre”, y asume una situación política enfocada en el gasto público en defensa, asistencialismo social y poca inversión en investigación y desarrollo.

Los dos primeros escenarios son considerados altos, el tercero es medio, y el cuarto y quinto son los de crecimiento más bajo, puesto que, para el caso del escenario cuatro (“Cerrados pero contentos”), se aboga por una política proteccionista hacia adentro y altamente agrícola, mientras que el escenario cinco, llamado “el Deschavete”, se enfoca en un orden

social tipo socialista donde el Estado es quien determina y legisla la conducta de los individuos.

La **Figura 10** muestra los resultados de simulación en los cinco escenarios ya descritos. En términos de

modelación, para cada uno de los escenarios se intervino el modelo de cuatro formas: a) Se asumián diferentes niveles de ventas externas (exportaciones), b) Comportamiento de consumo de los hogares, c) Innovación de productos, y d) Cambio tecnológico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Resultados de desempeño económico en los cinco escenarios.

Cada escenario muestra el contexto de la economía en cinco variables generales, las cuales consisten en desempleo (línea roja), consumo interno (línea azul), exportaciones (línea rosada), crecimiento del PIB (línea verde) e inversión (línea naranja). La dinámica del escenario uno y dos muestra crecimiento económico alrededor del 7% anual (con un intervalo entre 6% y 7%), con un desempleo entre el 4% y 7%, y la inversión, consumo interno y exportaciones con crecimiento exponencial. El escenario tres tiene un crecimiento del PIB entre tres y 4%, un desempleo con una tendencia constante entre el ocho y 14%, y un comportamiento de las ventas tanto internas como externas y de inversión inferiores a los de los escenarios altos.

Por su parte, los escenarios cuatro y cinco muestran crecimiento del PIB entre 0 y 3%, y -4 y 1% respectivamente. Tasas de desempleo que llegan al 20%, y ventas totales completamente comprimidas. Por causalidad, la inversión se deprime puesto que los bancos no son capaces de soportar la colocación por su insuficiencia de ingresos.

5. CONCLUSIONES

La historia del pensamiento económico ha hecho intentos de medir el comportamiento económico desde diferentes perspectivas, pero con la misma pregunta: ¿cómo está expresada la riqueza de los países? Desde los mercantilistas se hizo una

aproximación a través del intercambio, los fisiócratas, se enfocaban en la agricultura; y los clásicos (con Smith) se enfocaban al estudio de la división del trabajo.

A partir de estas miradas se identifican los factores que componen las identidades macroeconómicas que miden el nivel de producción de los países, en los que se encuentra el comportamiento de los hogares, las empresas, el gobierno, el sistema financiero y el sector externo. Las identidades se expresan esquemáticamente de forma circular para vislumbrar las interacciones entre los agentes económicos.

No obstante, el modelo de flujo circular no permite cuantificar el crecimiento económico, el cual es resuelto parcialmente con los aportes de Solow y su modelo de crecimiento endógeno. A pesar de ello, la aproximación de Solow limita la realidad con el supuesto de rendimientos constantes a escala, el cual genera interrogantes sobre los posibles comportamientos de la economía y su crecimiento.

Por consiguiente, el modelo que acá se presenta bajo la técnica de Dinámica de Sistemas rompe con el supuesto de rendimientos constantes y logra vincular los rendimientos crecientes, los cuales pueden generar fluctuaciones en el crecimiento económico. Tal es el caso de los cinco escenarios simulados para Colombia, en el que la innovación y el cambio tecnológico sirvieron como variables de intervención para el modelo, los cuales generaron sendas altas, medias y bajas de crecimiento y desempeño económico.

En este sentido, los escenarios uno y dos mostraron crecimientos entre el seis y 8%, mientras que el escenario tres fluctuaba entre el tres y 5%. Por su parte, los escenarios bajos (cuatro y cinco) contraían el crecimiento económico hasta niveles del -4%.

Este panorama general a futuro muestra que definitivamente el papel del Gobierno consiste, no en el asistencialismo o intervención social que genere riesgo moral, sino más bien en la formulación e implementación de incentivos que generen transformación desde el accionar de la sociedad. Dichos incentivos son la facilidad, la investigación y desarrollo, el aprendizaje, la elaboración de un marco institucional que permita el fortalecimiento y

desarrollo armonioso de los mercados, y estrategias de inserción en la globalización.

6. REFERENCIAS

- [1] PÉREZ, O. J. (2008). Cuestiones metodológicas respecto a la ciencia económica: Una crítica marxista. Escanógrafos Escuela de Economía, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional sede Bogotá. [Documento en internet] disponible en: http://www.fce.unal.edu.co/publicaciones/media/docs/EconPerez_2.pdf
- [2] MUN. T. (1621). A Discourse of trade from England Unto the East Indies.
- [3] LANDRETH, H. y COLANDER, D. (2006). Historia del pensamiento económico. Cuarta edición, McGraw Hill. México D.F.
- [4] SMITH, A. (1775). Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las Naciones. Ediciones Orbis S.A. Barcelona, 1983.
- [5] KEYNES. J. M. (1936). The General Theory of Employment, Interest and Money. Macmillan Cambridge University Press.
- [6] MANKIW, G. (2002). Principios de economía. McGraw Hill, Segunda edición. Madrid
- [7] SOLOW, R. (1956). A contribution to the Economic Growth. The Quarterly Journal of Economics, Vol. 70 No. 1, pp. 65-94.
- [8] GÓMEZ, D. (2005). Economía Sistémica. Editorial Cámara de Comercio, Medellín.
- [9] Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2009). Cuentas Nacionales Anuales. Bogotá D.C.
- [10] Banco de la República (2009). Series estadísticas. Bogotá D.C.
- [11]. Departamento Nacional de Planeación (2002). Informe de la Alta Consejería para la competitividad y productividad. Bogotá D.C.

Tiendas de conveniencia en Bogotá al 2030: Modelación de factores que determinan su crecimiento

Germán Camelo R., David Garza y Mariana Pérez-Maldonado
Escuela de Graduados en Administración Pública y Política Pública, ITESM
Maestría en Prospectiva Estratégica

camelo.germán@gmail.com, davidgarza@hotmail.com, mariana.perezmalonado@gmail.com

Resumen: En el presente artículo se identificarán los principales factores que se involucran en el sistema de comercialización de productos al menudeo en el mercado bogotano y que permiten comprender el comportamiento del crecimiento de las tiendas de conveniencia en esta ciudad. Su propósito es desarrollar un entendimiento de cómo el proceso de ventas, la reacción del consumidor tras los años de exposición al esquema de comercialización y la presencia del comercio informal, entre otros factores, habilitan el crecimiento de las tiendas de conveniencias en la ciudad de Bogotá con el fin de generar escenarios que permitan apreciar riesgos relevantes a inversionistas interesados en entrar a dicho mercado.

Para la aplicación de la investigación se hará énfasis sobre el sistema de competencia de las tiendas de conveniencia como un todo, sin hacer diferencia entre las diversas cadenas que compiten o competirían en el segmento, buscando relacionar los factores que impactan su crecimiento.

Palabras clave: Colombia, Bogotá, tiendas de barrio, Dinámica de Sistemas, modelación, tiendas de conveniencia.

1. ANTECEDENTES DE LAS TIENDAS DE CONVENIENCIA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, COLOMBIA

Según la WTO, al 2007 Colombia contaba con una población de 46.117.000 habitantes —menos de la mitad de la población en México— y con un PIB per cápita de \$3.729 dólares. Sin embargo, esto no le resta atractivo como mercado potencial.

Según lo establecido por la Asociación Nacional de Tiendas de Conveniencia en Estados Unidos, una tienda de conveniencia es un establecimiento de tamaño menor a 700 m², con un horario de atención

superior a 18 horas, con periodo de apertura los 365 días del año. A la fecha, un esquema como tal apenas existe en la ciudad de Bogotá. Se podría decir que la concentración del mercado en términos de oferta de tiendas de conveniencia en Bogotá es muy baja, existe muy poca competencia directa, ya que tan sólo para el presente año se estimaba un total de 35 tiendas en la ciudad.

Bogotá es la capital de Colombia, y es la ciudad con el mayor número de habitantes del país. En la actualidad, el mercado de consumo masivo está representado por diferentes actores que, en distintas formas y a través de diversas estrategias, compiten por obtener la mayor participación posible en un mercado recientemente explorado. Entre ellos se encuentran los supermercados, hipermercados y bodegas mayoristas, los cuales buscan satisfacer las necesidades de consumo de los habitantes de la ciudad en general. A estos valdría la pena añadir los comerciantes informales o tenderos de barrio, quienes distribuyen mercancías al menudeo con precios competitivos, a los habitantes que la circundan. Estas tiendas representan el sustituto inmediato a la tienda de conveniencia, ya que a pesar de contar con un surtido muy limitado (e inconsistente) y pocas opciones de marcas y tamaños, culturalmente representan una alternativa común.

Dada la anterior situación que se presenta en el mercado de comercio al menudeo en la ciudad de Bogotá, y el interés de algunas cadenas transnacionales de entrar en dicho mercado para posicionarse en este canal, se propone simular el sistema de consumo de las tiendas de conveniencia, para identificar el comportamiento del crecimiento de una marca, dadas las variables que inciden sobre él y generar posibles escenarios que pueden presentarse al año 2030.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo del presente modelo es realizar una exploración de cómo el proceso de ventas, la reacción del consumidor tras los años de exposición al esquema de comercialización y la presencia del comercio informal o depósitos, entre otros factores, habilitan o reprimen el crecimiento de las tiendas de conveniencias en la ciudad de Bogotá con el fin de generar escenarios que permitan apreciar riesgos relevantes a inversionistas interesados en entrar a dicho mercado.

2.1 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA A ESTUDIAR.

Los componentes del sistema a estudiar se definen de la siguiente forma. El *suprasistema* se define como el mercado de comercialización al menudeo o ventas al detalle en Bogotá. Por su parte, el *sistema* comprende el mercado de comercialización al detalle en pequeñas superficies —incluyendo depósitos/tiendas de barrio, tiendas de conveniencia y otras— en la ciudad de Bogotá, Colombia. Finalmente, el *subsistema* se define como el mercado de tiendas de conveniencia en Bogotá.

Sobre el *ambiente del sistema* se puede decir que se encuentra vacante en términos de la competencia, ya que su potencial aún no ha sido explorado por completo. A pesar de esto, no es un ambiente libre de riesgo, por lo que deben considerarse algunos aspectos de importancia: (1) en el presente el consumidor bogotano no está expuesto a una oferta de horario extendido (como el presentado por el esquema de tiendas de conveniencia en México) por lo que debe considerarse un proceso de familiarización del consumidor; (2) a diferencia de las ciudades en México, la extensión geográfica de la ciudad es fija, por lo que presenta una restricción de espacio para el establecimiento de las tiendas, por lo que se cuenta con un nivel de saturación de mercado fija; (3) en el presente, la ciudad presenta una abrumadora presencia de comerciantes informales o tiendas de barrio.

2.3 HIPÓTESIS DINÁMICAS.

Hipótesis 1. El crecimiento de las tiendas de conveniencia se comportará de manera exponencial, duplicándose cada año hasta llegar a la saturación del mercado.

Hipótesis 2. Con el paso de los años, a mayor familiarización del consumidor con el concepto de tiendas de conveniencia potencializará su crecimiento.

Hipótesis 3. Consecuentemente, a mayor familiarización del consumidor con el esquema de tiendas de conveniencia, menor cantidad de tiendas de barrio habrá en la ciudad.

Hipótesis 4. Conforme más tiendas de conveniencia se establezcan crecerán las ventas del conjunto, hasta llegar a un punto de saturación.

Para el logro del objetivo del proyecto y la prueba de las hipótesis establecidas se analizarán las variables *número de tiendas de conveniencia en Bogotá* y *ventas de las tiendas de conveniencia* como críticas.

2.4 DIAGRAMA CAUSAL

El diagrama causal propuesto se compone de tres ciclos de refuerzo que muestran los determinantes del crecimiento de las tiendas —ventas, familiarización del consumidor y la extinción de los depósitos como sustitutos inmediatos— y un ciclo de balance, en el que se expresa la restricción impuesta por la capacidad limitativa del mercado que se estudia.

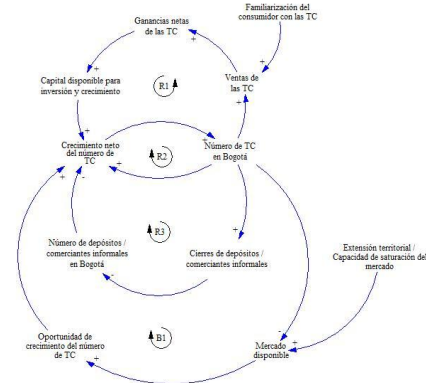


Figura 1. Diagrama causal.

Ciclo 1: R1. Partiendo del número de tiendas de conveniencia existentes en la ciudad de Bogotá, se encuentra que mientras aumente este número, las ventas del conjunto de tiendas incrementarán también. Las ventas también se ven impactadas por el grado de familiarización del consumidor con el esquema de comercialización de las tiendas de conveniencia, siendo que a mayor familiarización serán mayores las ventas. El crecimiento en ventas impactará las ganancias de forma positiva, y al tener mayores ganancias, también será mayor el capital disponible para inversión o crecimiento del número de tiendas. Una mayor cantidad de capital disponible impulsará el crecimiento neto del número de tiendas de conveniencia, haciendo que el número de tiendas de conveniencia en la ciudad de Bogotá incremente.

Ciclo 2: R2. A mayor tasa de crecimiento o establecimiento de tiendas de conveniencia en

Bogotá, mayor será la cantidad total de tiendas de conveniencia.

Ciclo 3: R3. A mayor número de tiendas de conveniencia en la ciudad de Bogotá, mayor será el número de depósitos o comerciantes informales que se verán obligados a cerrar sus establecimientos. A mayor número de cierres, menor será la cantidad total de depósitos o comerciantes informales. Esta disminución habilitará una mayor oportunidad de crecimiento neto para el establecimiento de tiendas de conveniencia, provocando que el número de establecimientos en la ciudad crezca.

Ciclo 4: B1. El espacio disponible para establecer tiendas es determinado por la extensión territorial de la ciudad de Bogotá o la capacidad de saturación determinada de la ciudad. Mientras sea mayor esta capacidad, mayor será la cantidad de espacio disponible para la apertura de tiendas. A mayor espacio disponible, mayor será la oportunidad percibida para la apertura de tiendas de conveniencia y el crecimiento neto de estos establecimientos se incrementará también. Esto provocará que la cantidad de tiendas en la ciudad crezca, saturando o disminuyendo el tamaño del mercado disponible.

2.5 DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama de bloques propuesto se divide en tres sectores de interés —los depósitos o comerciantes informales, las tiendas de conveniencia y las ventas de las tiendas de conveniencia— los cuales trabajan en conjunto potencializando o reprimiendo el crecimiento del nivel principal del modelo: el número de tiendas de conveniencia.

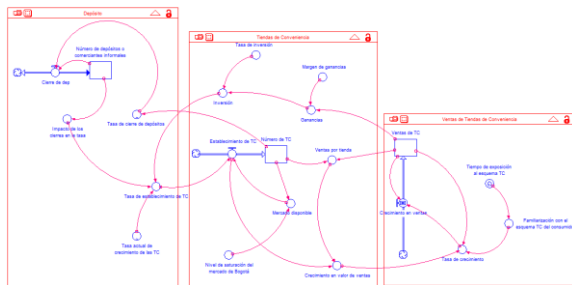


Figura 2. Diagrama de bloques.

3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.

A continuación se analizarán los comportamientos de las principales variables de interés, o todas aquellas que se enlazan directamente sobre la tasa de crecimiento o establecimiento de tiendas de conveniencia, variable que es el foco principal del modelo.

La primera variable de interés, según lo dictado por el objetivo del modelo, es el *número de tiendas de conveniencia* en la ciudad de Bogotá. Se espera que su comportamiento gráfico tenga forma de S, ya que se presenta una restricción de extensión territorial disponible —1.776 kilómetros cuadrados. Para esto, el equipo añadió una restricción de capacidad, o un nivel de saturación de mercado, de dos tiendas por km^2 , o lo equivalente a tener dos tiendas por aproximadamente cada 10 cuadras.

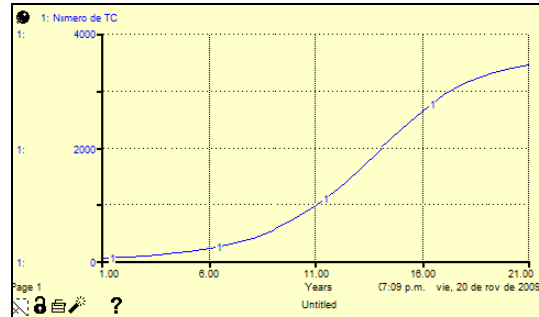


Figura 3. Corrida base número de tiendas de conveniencia

La gráfica parte de un valor de 35, la cantidad estimada actual de tiendas de conveniencia en la ciudad. A 21 años de antigüedad, y dado que la gráfica es asintótica, se encuentra que el número de tiendas ya es prácticamente el de la saturación. Al realizar una segunda prueba corriendo el modelo a 30 años se encuentra que la ciudad alcanza su punto máximo de capacidad aproximadamente en el año 30. Este nivel de saturación está sujeto, además de a la extensión territorial de la ciudad, a una tasa de crecimiento atada a una proporción de las ventas destinada a la inversión, así como al cierre de depósitos o comerciantes informales.

La segunda variable de interés son las *ventas de las tiendas de conveniencia*. Su gráfica parte de la cifra de 0.2 miles de millones de dólares, la cifra actual reportada por reportes de industria. El crecimiento en ventas se determina por su tasa de crecimiento, la cual a su vez es impulsada por las ventas generadas por el establecimiento de nuevas tiendas y el volumen de las ventas mismas. La familiarización del consumidor con el esquema de tiendas de conveniencia es otro factor considerado ya que, aunque se considera que si se le presenta la oferta éste la aprovechará, consideramos que la demanda del consumidor tiene el potencial de hacer que las ventas crezcan. En la gráfica se observa un crecimiento en forma de S, ya que como ha sido definido, las ventas tienden a crecer con el

incremento o la apertura de nuevas tiendas, hasta que éste llega a su saturación.

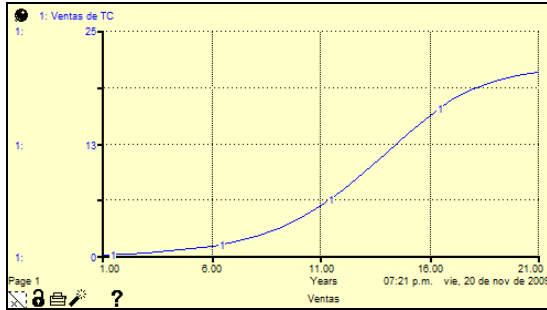


Figura 4. Corrida base ventas de tiendas de conveniencia

Una variable importante es el número de depósitos (tiendas de barrio) o comerciantes informales. Aunque por su carácter informal son difíciles de medir, se cuenta con un estimado de la cantidad actual de este tipo de establecimientos —12.000 tiendas— el cual es el punto de partida de esta gráfica. El número de depósitos se ve impactado por una tasa de cierre, determinada por la presencia de las tiendas de conveniencia. En otras palabras, y basándonos en lo sucedido en otros países, a mayor presencia de tiendas formales más difícil será para los depósitos sobrevivir. A esto vale la pena agregar que de los 12.000 depósitos considerados, más de la mitad de ellos tiene menos de 3 años de antigüedad, lo que refleja la facilidad de apertura y cierre de los mismos.

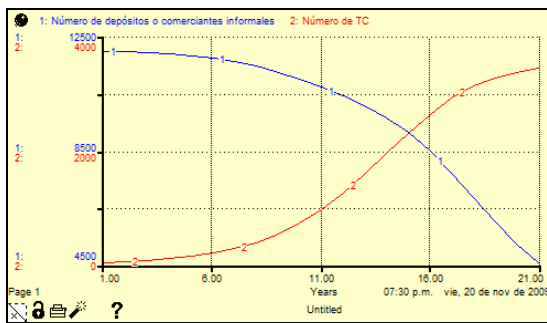


Figura 5. Corrida base número de depósitos o comerciantes informales

Al cruzar el número de tiendas de conveniencia con el número de depósitos en una misma gráfica, se puede observar que el número de depósitos disminuye aunque nunca llega a cero —incluso mientras la cantidad de tiendas de conveniencia se aproxima a su nivel de saturación—.

Por su parte, la variable *mercado disponible*, definida en términos del número de tiendas que aún es posible

abrir (en función de la extensión territorial disponible para el establecimiento o apertura de tiendas de conveniencia), exhibe un comportamiento gráfico de *S* inversa. Este comportamiento se debe a que representa la diferencia entre el nivel definido como la saturación del mercado y la cantidad actual de tiendas y, ya que esta variable influye sobre el establecimiento de tiendas, la regula haciendo que su crecimiento disminuya hasta aproximarse a cero.

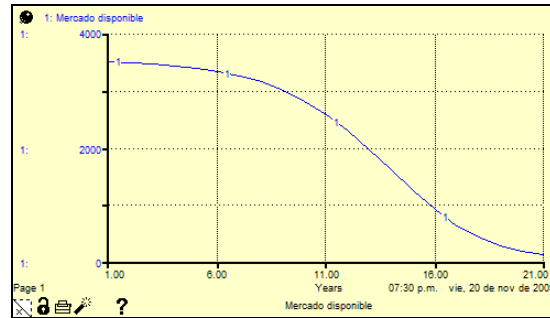


Figura 6. Corrida base mercado disponible

3.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad mejora nuestro entendimiento del sistema mediante la identificación de los parámetros ante los que reacciona. Éste consiste en probar la reacción de nuestro modelo a cambios en los parámetros y en la estructura misma del modelo.

La prueba de sensibilidad del modelo se inicia modificando el parámetro que puede hacer que el establecimiento de las tiendas de conveniencia pueda darse con mayor aceleración, este es *la tasa de inversión*. Para este parámetro se realiza la simulación, tomando en cuenta qué ocurriría si se tomará la decisión de invertir más dinero, que no provenga únicamente de las ventas.

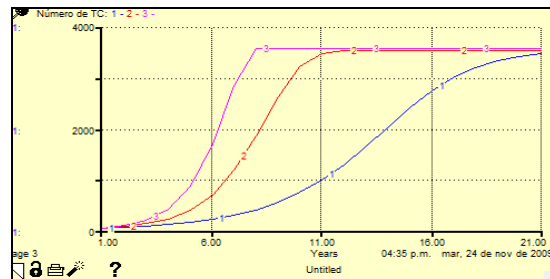


Figura 7. Sensibilidad de la tasa de inversión

Al modificar el parámetro de tasa de inversión y observar los resultados de forma gráfica, es posible verificar que un crecimiento del doble (en rojo) o triple (en azul) de la cantidad invertida lleva a un

acelerado crecimiento del número de tiendas. Este parece un supuesto muy simple, sin embargo, al ver la gráfica inferior, es posible evidenciarse que demasiada inversión generaría una explosión de aperturas de nuevas tiendas, para las cuales tal vez no esté preparada la ciudad, dada la familiarización del cliente con este concepto de consumo.

Otro parámetro para analizar es el *margen de ganancias*. Al modificarlo es posible evidenciar que dado un menor margen de ganancias generado por las ventas de las tiendas de conveniencia, se produce una desaceleración del número de tiendas que pueden establecerse, dada la capacidad del mercado, como se observa en la siguiente gráfica:

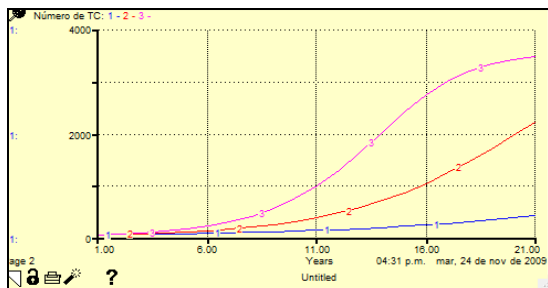


Figura 8. Sensibilidad del margen de ganancias

Adicionalmente puede contrastarse este parámetro con la variable *tasa de inversión*, analizada anteriormente y ver el impacto que genera en la inversión una reducción o aumento en las ganancias percibidas, e impactando la tasa de crecimiento de las nuevas tiendas.

Finalmente se analiza la sensibilidad del modelo frente a la variable *tasa de cierre de depósitos o comercios informales*, que son los que actualmente representan la competencia directa del canal de menudeo, obteniendo los siguientes resultados gráficos:

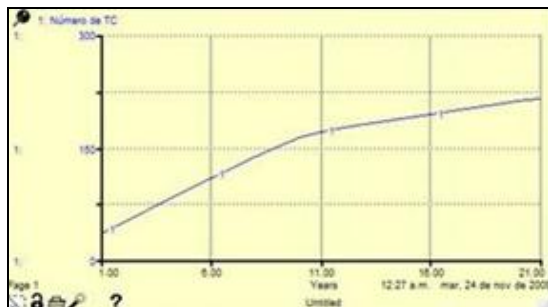


Figura 9. Sensibilidad de la tasa de cierre de depósitos o comerciantes informales

Es posible visualizar que a pesar de que los depósitos pudiesen no cerrar sino por el contrario mantenerse o

crecer, las tiendas de conveniencia crecerían pero a una velocidad mucho menor, sin embargo, no sería motivo para frenar el crecimiento. En este caso se esperaba que dada la naturaleza de la variable, las tiendas de conveniencia no crecieran o simplemente empezarán a cerrar, sin embargo no se obtuvo el comportamiento esperado.

3.2 EVALUACIÓN DE LAS HIPÓTESIS Y POLÍTICAS DE DECISIÓN

Tras realizar la corrida base y el conjunto de pruebas a las que se sometió el modelo, es posible evidenciar las conclusiones de las hipótesis planteadas, probando los mapas mentales del comportamiento esperado que se tenían preconcebidos –contando ahora con sustento para afirmar su comportamiento–.

Partiendo de esto, el modelo nos indica que el crecimiento de las tiendas de conveniencia no se comporta de una manera exponencial duplicándose cada año hasta llegar a su saturación. Se encuentra que el comportamiento pensado sólo se manifiesta de manera parcial, ya que éstas siguen el comportamiento de una curva de Gompertz formando una “S” hasta llegar al nivel de saturación del mercado, donde no es posible el establecimiento de más tiendas de conveniencia en la ciudad.

Siguiendo ésta línea de pensamiento, el modelo afirma que con la familiarización del consumidor bogotano con el esquema de las tiendas de conveniencia a través de la exposición al formato, con el paso del tiempo el número de tiendas se incrementará. Por lo tanto el número de depósitos o tiendas, parte del sector comercial informal, disminuye a razón del incremento del establecimiento y hábito de uso del consumidor.

Las políticas bajo las que se rige el modelo dinámico planteado permiten controlar su comportamiento así como su representación de la problemática abordada. De igual manera representan riesgos y restricciones para éste, ya que limitan o potencializan, dependiendo de la situación, el crecimiento de las variables resultado. Se plantean dos cambios estratégicos con los que están relacionadas las variables sensibles, haciendo que se puedan percibir los riesgos que puede tener el inversionista interesado en ingresar a este mercado:

1. La familiarización con el esquema de tiendas de conveniencia tiene un efecto sobre las ventas de las tiendas, por lo tanto manipulando la familiarización se limita el crecimiento de las

tiendas de conveniencia, impactando la inversión y el establecimiento de nuevas tiendas.

2. La renuencia al cambio del comercio informal de igual manera impacta la tasa de crecimiento de las tiendas de conveniencia, a mayor cierre de depósitos o extinción del comercio informal incrementa la atractividad de establecer mayores tiendas, por lo tanto la tasa de crecimiento es mayor, o el caso contrario que puedan tomarse acciones por parte de la Federación Nacional de Tenderos (FENALTIENDAS) y los depósitos puedan mantenerse o crecer en *número de depósitos o comercios informales dentro de la ciudad.*

3.3 CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

Partiendo de las políticas mencionadas, se efectúan cuatro posibles variantes del modelo, que se especifican posteriormente como escenarios plausibles.



Figura 10. Cuadrantes de los escenarios propuestos

Escenario 1: Mucho ruido y pocas nueces... Los habitantes de Bogotá identifican plenamente el concepto que manejan las tiendas de conveniencia, la familiarización con este nuevo formato de venta en la ciudad ha sido alta y cada vez es más común que realicen sus compras en estos establecimientos. Cuando las TC llegaron a Bogotá, muchos depósitos se vieron obligados a cerrar, aunque la gran mayoría de ellos tenían poco tiempo en el mercado. Con el paso del tiempo y conforme se acostumbraron a la presencia de este nuevo competidor este comportamiento se detuvo. Ahora se observa que los depósitos están firmes en su terreno, y aunque en total su cantidad es menor, su antigüedad promedio

se ha incrementado. La presencia de los depósitos provoca que las TC no alcancen a obtener ventas significativas, lo que ha representado una tasa muy baja de apertura de nuevas tiendas con este concepto.

¿Qué sucede? La familiarización del consumidor se comporta como en la corrida base y los depósitos no cierran y por el contrario crecen. Esto provoca que las TC crezcan a un ritmo más lento y no se llega al nivel de saturación dentro del plazo de tiempo considerado.



Figura 11. Resultados de la aplicación del escenario 1

¿Cómo se logra este comportamiento? Se modifica la ecuación de cierre de depósitos dado el crecimiento de las TC en la variable *tasa de cierre de depósitos*, haciendo que los depósitos crezcan.

Escenario 2: Adonde fueres, haz lo que vieres... Las tiendas de conveniencia empiezan a ser identificadas por el consumidor como el mejor formato de consumo de acuerdo con sus necesidades diarias. Las nuevas propuestas de servicio, la disponibilidad y la oferta de productos han hecho que los bogotanos se decidan, de manera positiva, a comprar en estas tiendas, dejando de comprar en los

depósitos y tiendas de barrio que frecuentaban normalmente. Se identifica un crecimiento constante en las ventas de las tiendas de conveniencia y estos resultados han hecho que se construyan nuevas tiendas en diferentes puntos de la ciudad. Cada vez se encuentran menos depósitos en los barrios y la familia entera se ha acostumbrado a comprar con total normalidad en las nuevas tiendas y éstas han aprendido a satisfacer las necesidades y gustos de los bogotanos, y hacen las cosas como si siempre hubiesen estado allí.

¿Qué sucede? Las variables se comportan como en la corrida base —la familiarización del consumidor se incrementa con el paso del tiempo y los depósitos cierran con la apertura de TC, mas no desaparecen. Esto provoca que las TC crezcan hasta llegar al nivel de saturación.

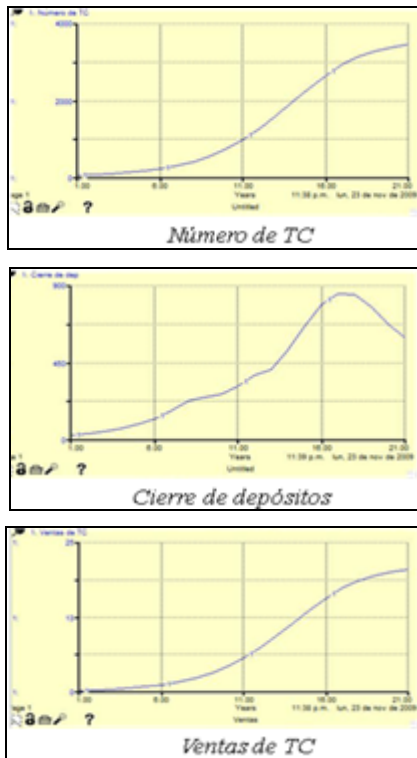


Figura 12. Resultados de la aplicación del escenario 2

¿Cómo se logra? Las variables se mantienen constantes como en la corrida base.

Escenario 3: Del dicho al hecho, hay mucho trecho... Los bogotanos siguen sin comprender el nuevo concepto de consumo que representan las tiendas de conveniencia. A pesar de los esfuerzos, el consumidor no se logró familiarizar con las nuevas tiendas, por lo que los depósitos siguen siendo la opción más frecuente para realizar las compras diarias. Las ventas en las nuevas tiendas no despegan

y los planes de crecimiento no se llevan a cabo. Hay pocas tiendas en la ciudad y encontrar una no es fácil. Las estrategias de ingreso al mercado colombiano no fueron exitosas, los planes fueron solo planes y los resultados esperados nunca llegaron.

¿Qué sucede? Se identifica rechazo por el nuevo concepto de TC y se genera mayor consumo en los depósitos, haciendo que éstos crezcan. Por lo tanto, las TC crecen solamente para satisfacer un consumo bajo y no se llega al punto de saturación en el plazo de tiempo especificado.



Figura 13. Resultados de la aplicación del escenario 3

¿Cómo se logra? Se modifica la ecuación de cierre de depósitos dado el crecimiento de las TC en la variable *Tasa de cierre de depósitos*, haciendo que los depósitos crezcan por un periodo de tiempo y después se detienen para mantener el equilibrio de consumo dentro de la ciudad. Asimismo, se modificó la tabla de *familiarización con el esquema de TC del consumidor*, para reflejar una actitud de rechazo que provoca caída en la tasa de crecimiento de las ventas.

Escenario 4: Camarón que se duerme... Los habitantes de la ciudad de Bogotá no se familiarizan con el concepto de las tiendas de conveniencia, ni su horario, ni su forma de servicio, y sólo ocasionalmente realizan sus compras en ellas. Los

depósitos siguen estando presentes en la vida de los ciudadanos, sin marcar diferencia para los consumidores. Se observa que algunos han ido cerrando por la caída de las ventas y la presencia de otros competidores. Las ventas de las TC no muestran señales de crecer, lo que contribuye a que haya muy pocas tiendas en la ciudad. Otros competidores, como los supermercados y las farmacias han tomado ventaja de esta situación y poco a poco van acaparando una parte más grande del pastel de la comercialización al detalle.

¿Qué sucede? No hay familiarización del concepto de TC y por el contrario se produce rechazo generado caída en las ventas. Esto provoca que las TC crezcan lentamente y no se llegue al nivel de saturación en el plazo de tiempo especificado. Los depósitos también cierran.

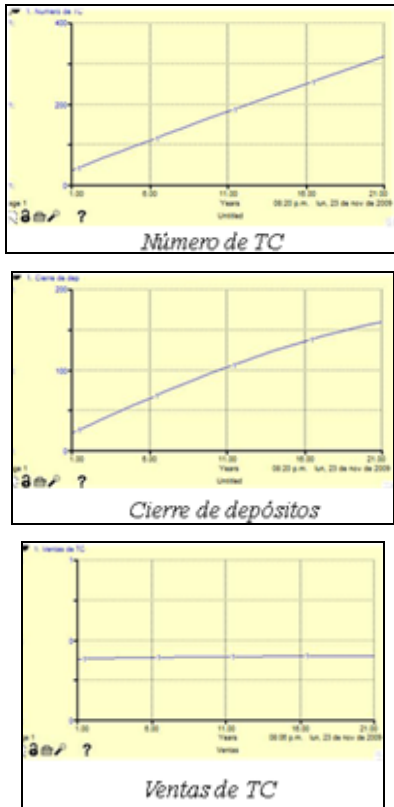


Figura 14. Resultados de la aplicación del escenario 4

¿Cómo se logra? Se modificó la tabla de la familiarización con el esquema de TC del consumidor, provocando un rechazo que produce caída en la tasa de crecimiento de las ventas.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La definición inicial de la temática a modelar sufre continuos cambios a medida que el tema se empieza a abordar desde la investigación y profundización de las variables establecidas en el modelo mental inicial, haciendo que el resultado final represente la complejidad que no se visualizaba desde el principio. Los continuos ciclos de retroalimentación que sufre el modelo hacen que se produzca una depuración permanente del modelo mental, estableciendo una mejor aproximación a la representación del mundo real. Sin embargo, al ser una representación subjetiva de la realidad, las estructuras y las reglas de decisión establecidas pueden mantenerse y provocar errores que se evidencian en los resultados finales del modelo.

Sobre el estado actual del sistema y los supuestos. El modelo planteado para determinar el comportamiento del crecimiento de las tiendas de conveniencia maneja como supuesto importante el determinante de la saturación del mercado, que está dado por el establecimiento de dos tiendas por kilómetro cuadrado, restringiendo el total de tiendas de conveniencia posibles de alcanzar como 3.544 en toda la ciudad.

El modelo de crecimiento de un negocio nuevo está dado por la inversión que se disponga para generar dicho avance. Para el caso del modelo planteado, el monto destinado a la inversión está representado por una tasa proveniente de las ganancias generadas por las ventas del mismo negocio.

Por su parte, las ventas pueden ser potencializadas por un número de factores, en particular aquí mostramos el poder del consumidor. El grado de familiarización del consumidor, en este caso, se plantea con relación al paso de los años, pero éste puede ser manipulado por un inversionista, por ejemplo, a través de campañas publicitarias.

El tiempo que un inversionista interesado en ingresar al mercado bogotano con el modelo de ventas al detalle a través del canal de tiendas de conveniencia, debería estar estimado de acuerdo con la velocidad de crecimiento de dicho canal, es decir, que la decisión para ingresar a competir puede estar dada de acuerdo con el comportamiento del mercado en función del número de establecimientos existentes que trabajan el mismo esquema comercial.

El incremento en el valor de las ventas en el modelo está determinado por la apertura de nuevas tiendas de conveniencia, sin embargo, al existir mayor número de tiendas el valor de la venta por tienda tiende a distribuirse.

El modelo planteado toma como supuesto que la apertura de una tienda de conveniencia en la ciudad de Bogotá generará un consumo en los habitantes que le circundan, de tal manera que la demanda es evidente ante la oferta estimulada.

El manejo del margen de ganancia permitiría a un inversionista crecer de manera más acelerada y ocupar una mejor posición en el mercado bogotano, buscando modificar la velocidad de crecimiento de las ventas y una mayor cobertura poblacional.

El número de tiendas en el modelo está generado como un nivel que acumula las nuevas tiendas, mas no se toman en cuenta salidas o cierres de tiendas, por problemas de localización o canibalismo comercial.

La extensión territorial se toma en cuenta dado el plan de ordenamiento territorial existente para la ciudad de Bogotá, que determina y limita el crecimiento de la misma.

Sobre las políticas propuestas. Salir de las políticas propuestas invalida el modelo y lo hace perder su estabilidad, por lo que para futuros esfuerzos de modelación dinámica se plantean los siguientes puntos para cambiar el enfoque del modelo:

- Aplicar la problemática para el desarrollo del modelo a una cadena en específico, que permitiría aterrizar el modelo a un cliente y potencializar sus operaciones.
- Contemplar la competencia, tanto en el mismo canal como sustitutos, ya que bajo el modelo planteado se consideran las tiendas de conveniencia como un mercado sin pertenecer específicamente a una cadena.
- Considerar fuentes de inversión fuera del ingreso por ventas, ya que éstas, sobre todo foráneas, pueden representar un catalizador para el desarrollo de nuevas tiendas de conveniencia.

Esto no pretende invalidar los esfuerzos realizados, ya que como un sistema complejo, una aproximación de esta manera permite mejorar su comprensión para aterrizarlo posteriormente a casos específicos como se propone y por lo tanto incrementar las políticas del modelo que permitan crear mayores estrategias que ayuden a su manipulación.

5. REFERENCIAS

5.1 ARTÍCULOS DE REVISTAS, JOURNALS Y PUBLICACIONES DE INDUSTRIA.

JAFFE, K. (2007). The economic limits of trust: the case of Latin-American urban informal commerce sector. *Journal of Developmental Entrepreneurship*. Vol. 12, No.3, p339-352.

WORSLEY, H. (2009). Understanding the older food consumer. Present day behaviours and future expectations. *Appetite*. Vol. 52, No. 1 pp.147-54

Sin autor. (Q1, Q2, Q3 y Q4, 2009) Retail. *Colombia Food and Drink Report*. Fecha de consulta: 2 de noviembre de 2009 de: Biblioteca Digital, Business Monitor International Industry Reports.

5.2 RECURSOS ELECTRÓNICOS

Dinero/Tendencias. Dinero.com. Cajas Tiendas Colsubsidio. Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2009 de: <http://www.dinero.com/noticias-tendencias/cajas-tiendas-colsubsidio/37989.aspx>

National Association of Convenience Stores Magazine (2007). Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2009 de: <http://www.nacsonline.com/NACS/Magazine/Pages/default.aspx>

WTO. 2007. Trade Statistics Profile. Colombia y México. Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2009 de: <http://stat.wto.org/CountryProfile/WSDBCountryPFView.aspx?Language=E&Country=MX,CO>

Informe Anual (2008). FEMSA. Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2009 de: <http://ir.femsa.com/mx/annuals.cfm> y reportes de industria.

Secretaría Distrital de Planeación. Plan de ordenamiento territorial. Fecha de consulta: 19 de noviembre 2009 de: <http://www.sdp.gov.co/www/section-2022.jsp>.

Centro Iberoamericano de Desarrollo Estratégico Urbano. Bogotá. Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2009 de: <http://www.cideu.org/site/content.php?id=173>

Sin autor (10/18/2008). Las tiendas de Bogotá, a rayos X. *Revista Dinero*. Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2009 de: http://www.dinero.com/online/tiendas-bogota-rayos_40504.aspx

Modelo de sostenibilidad económica para parcelas de seis a treinta hectáreas en piso térmico frío

Economic sustainability model for small farms

David Ortiz Puerta, Est. Daniel Mejía Parra, Est., Luis Antonio Quintero Ortiz, PhD.
Escuela de Ciencias y Humanidades - Universidad EAFIT
dpuerta1@eafit.edu.co, dmejiap@eafit.edu.co; lquinte3@eafit.edu.co

Resumen: En este trabajo se representa el comportamiento de una parcela de seis a treinta hectáreas, destinada a la agricultura extensiva y a la ganadería de doble propósito, en piso térmico frío, a altitudes entre los 2.000 y 3.000 metros sobre el nivel del mar. En estas regiones se tiene el 7.9% del territorio nacional y corresponde generalmente a geografías escarpadas, que hacen difícil tanto el ingreso de insumos como la extracción y comercialización de productos, contando además con grandes dificultades económicas.

El trabajo busca analizar la implementación de productos que tienen mucha demanda como la papa, o que tienen poca oferta como la mora y el mortiño, junto al ganado vacuno, en el caso de la ganadería, para establecer las mejores alternativas en estos productos, que le auguren a la familia campesina la sostenibilidad en su unidad productiva.

Palabras clave: sostenibilidad económica, unidad productiva, agricultura minifundista, ganadería de doble propósito.

Abstract: This paper represents the behavior of a field of six to thirty hectares, for extensive and dual purpose cattle, at altitudes between 2000 and 3000 meters above sea level in a cold climate. 7.9% of national territory corresponds to these regions, and is generally a rugged geography that complicates the entry of inputs, extraction and marketing of products; and having economic difficulties. The paper looks for the analysis of the implementation of high demand products such as potatoes, or low supply products such as blackberry and mortiño, and the analysis of cattle in the case of livestock, to establish the best alternatives for these products, which might involve the family farm sustainability in its production unit.

Key words: Economic sustainability, production unit, smallholder agriculture, dual purpose cattle.

1. ANTECEDENTES

Desde mediados de la década de los 80 y hasta el día de hoy, uno de los mayores problemas que afronta Colombia es el desplazamiento forzado, el cual es causado por el conflicto social y armado. Campesinos deben dejar sus tierras por amenazas o por temor a ser víctimas del conflicto y actualmente la cifra de desplazados supera los cuatro millones. Sumado a esto, el crecimiento de cultivos ilícitos, el cual implica quitarles tierras al campesinado u obligarlos a trabajar en este tipo de cultivo.

El desplazamiento propicia la disminución de pequeños productores, quienes se tienen que ir a otros lugares o a centros urbanos, donde por no contar con medios productivos adecuados generan un aumento en la pobreza del país, que a su vez ha sido un gran lastre para nuestro desarrollo.

El actual gobierno plantea generar un programa de reforma agraria, en cabeza del Ministro de Agricultura Juan Camilo Restrepo, para devolverle sus tierras a quienes las perdieron durante el conflicto que ha vivido el país. Pero aquí surge un problema frente a quienes se readaptan a nuevos proyectos productivos y se enfrentan a la necesidad de generar el sustento de sus familias, lo cual cuando resulta infructuoso, hace que se abandone el proyecto, sin obtenerse los resultados esperados, de retención de las familias y de generación de desarrollo económico para las regiones.

Por ello abordamos el problema de representar una pequeña unidad productiva prototipo, correspondiente a la de una parcela promedio de un pequeño agricultor (6 a 30 hectáreas). Mostramos en nuestro trabajo, cómo mediante un modelo de

simulación podemos representar la articulación entre diferentes actividades productivas, mostrando en forma dinámica cómo encontrar la mejor combinación de actividades para garantizar la sostenibilidad de la familia campesina. Este trabajo parte de otro anteriormente desarrollado dentro del Grupo de Modelación y Simulación Matemática de la Universidad EAFIT, desarrollado por Samuel de Greiff (De Greiff, 2009).

2. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se desarrolla un modelo sobre el sostenimiento de una parcela de pequeño tamaño, en predios de piso térmico frío, que corresponde a una altura entre los 2.000 y 3000 metros sobre el nivel del mar, lo cual suma una extensión aproximada de 93.000 km², los cuales corresponden al 7.9% del área total del país. Los datos tomados para el modelo corresponden especialmente a la región del Norte de Antioquia, que reúne los municipios de Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros, San José de la montaña, Don Matías, Entreríos, Belmira, Carolina, Yarumal, Gómez Plata y Angostura (estos dos últimos están ubicados en piso términos medio y por tanto no se avienen tanto a la geografía representada en el modelo).

Consideramos varios tipos de cultivos alternados con ganadería de doble propósito. Se evalúa el cultivo de papa, el cual posee una alta demanda, pese a que Colombia no tiene una oferta muy grande comparada con otros países. La papa reporta al campesino un ingreso a corto plazo, el cual se obtiene entre tres y cuatro meses, que es el tiempo para su cosecha. También evaluamos el cultivo de mora, el cual tiene una alta demanda en Colombia, así como en otros países. La mora tiene un periodo de siembra de ocho meses su cosecha. Por último, evaluamos el cultivo de mortiño, puesto que en regiones como Antioquia hay una alta demanda, pero dado a que es una fruta poco conocida, la oferta es reducida, por lo tanto se ven obligados a importar desde regiones como Cundinamarca, gastando recursos en el transporte y encareciendo el producto al consumidor final. El mortiño se recolecta dos veces al año.

3. JUSTIFICACIÓN

Buena parte de la economía colombiana se fundamenta en la producción campesina. Pero hay que destacar que las extensiones de tierra fértil y cultivable en el país son grandes, pero debido al narcotráfico estas tierras se están utilizando para

cultivos ilícitos o ganadería extensiva. Por tanto se hace pertinente plantear un modelo donde se muestre cómo lograr la sostenibilidad económica para que los campesinos no recaigan en la salida de entrar en grupos al margen de la ley o entregar sus tierras para cultivos ilícitos.

Dado que el problema se genera en terrenos pequeños, donde sin embargo el número de elementos para tener en cuenta en la toma de decisiones puede llegar a ser grande, requerimos de una herramienta que permita visualizar más fácilmente la estructura del sistema en estudio, sus variables y su comportamiento en el tiempo. Al tratarse de campesinos de bajos recursos, usualmente resulta difícil hacer un uso intensivo de las tierras, y es muy frecuente que en ocasiones solo se tenga la capacidad para utilizar una pequeña parte de la misma, sin hacer un uso de todo su potencial, lo cual merma las posibilidades del sostenimiento de la familia campesina. Adicionalmente, debido a la falta de educación de muchos de estos campesinos, acostumbran explotar los predios, como lo aprendieron a hacer de sus mayores y ofrecen frecuentemente resistencia para involucrar conocimiento técnico y hacer el máximo aprovechamiento de las tierras que poseen. Esto deriva en un mal manejo de la parcela, que en algunos casos puede terminar en un terreno inservible para fines productivos.

Con los últimos planes del gobierno de restitución de tierras y de generar una fuerte reforma agraria, y frente a la necesidad de abrir nuevos mercados para los productos generados, se brindan nuevas posibilidades para el campesinado. Lo cual hace que apliquemos con mayor detalle modelos que permitan hacer la proyección de los diferentes procesos involucrados en el sistema productivo y posibiliten brindar alternativas de acción para atenuar los riesgos de los nuevos procesos a emprender.

4. ESPECIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Dado el conjunto de variables consideradas, se pretende mirar las mejores alternativas que permitan un manejo sostenible del terreno, definiendo la cantidad de área destinada a la ganadería. Igualmente se pretende encontrar alternativas óptimas para el cultivo de los tres productos agrarios anteriormente mencionados. El principal problema encontrado es la escasez de dinero por parte de los propietarios de la parcela. Teniendo en cuenta que la mayoría son campesinos reinsertados, no cuentan con el suficiente dinero para aprovechar al máximo los terrenos. Como

el modelo se plantea para zonas frías de Antioquia, las parcelas se enfrentan a diferentes problemas como el clima, el cual muchas veces es extremo y resulta en pérdidas, tanto de los cultivos como muerte o enfermedades de los animales. Estas pérdidas deben ser amortiguadas con las ganancias obtenidas o al comienzo del proceso, con préstamos o ahorros, lo cual perjudica la frágil y pequeña economía del campesino. Otro problema encontrado es la dificultad del terreno, el cual genera que el campesino tenga que gastar recursos para extraer sus productos o ingresar insumos necesarios para los cultivos. Estos recursos son la compra de animales de carga como bueyes o caballos. Por último, debido a la extensión del terreno, es muy difícil para el campesino o la familia del campesino cosechar solos, por tal motivo se ven obligados a contratar mano de obra. De esta forma se ayuda a la comunidad, pero el propietario de la parcela se ve obligado a darles un salario, el cual significa un gasto.

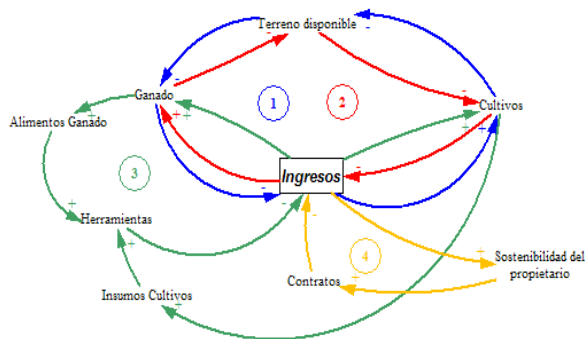


Diagrama 1; Ingresos en la parcela

Dentro del diagrama podemos encontrar el ciclo uno y dos, estos ciclos muestran cómo los ingresos se ven afectados por los cultivos y por el ganado. Ambos usos compiten por el terreno, lo cual hace que se tengan que sopesar las magnitudes y temporalidades de los ingresos provenientes de cada una de ellas, para definir las áreas usadas.

El ciclo tres representa el efecto que tienen los ingresos en el flujo de suministros para soportar el proceso productivo. Dado que la finca es de pequeño tamaño, los insumos utilizados para el sostenimiento generan un gasto, el cual sale de los ingresos generados. Estos primeros ingresos deben ser reinvertidos por el campesino, para generar sostenibilidad en el proceso productivo.

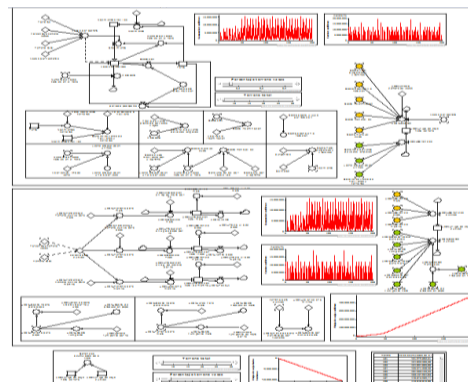
En el ciclo cuatro se describe la relación que se tiene entre los propietarios de la tierra y la mano de obra necesaria para emprender el proceso productivo. Si bien en algunos casos cuando la familia es numerosa

se pueden tener cubiertas las actividades de la finca, mediante la participación de sus miembros, en ocasiones esto puede ser diferente y requerirse de contratar mano de obra libre en la región.

5. MODELO

En el modelo realizado a partir de Dinámica de Sistemas, se representa un sistema prototipo para el sostenimiento de una parcela de entre 6 y 30 hectáreas dedicado a la agricultura extensiva y a la ganadería de doble propósito. Para esto se tuvieron en cuenta las diferentes posibilidades para los campesinos y se buscó la mejor alternativa para obtener la mayor sostenibilidad en la unidad productiva.

El modelo se divide en dos submodelos, donde se representa la parte de la ganadería y la parte de la agricultura. El modelo de la ganadería tiene un componente principal que se encarga de distribuir el terreno para buscar la mejor opción. Teniendo en cuenta lo mencionado en el artículo *Las leyes universales de André Voisin para el pastoreo racional* (Michael Rúa Franco, 2009) se determinó cuántos potreros debe tener el modelo y cuántas vacas puede haber por potrero, para asegurar el sostenimiento y el equilibrio y evitar el sobrepastoreo, adicionalmente se tomó el kikuyo como pasto principal para el alimento del ganado (Francisco Javier Puerta Viana y Gabriel Murillo García, 2002) finalmente, teniendo en cuenta el *Pastoreo inteligente* (Dr. Alexander Echeverri Giraldo, 2009) se disminuyen las pérdidas de un 30% a solo un 12% del kikuyo recolectado garantizando un mejor rendimiento. Dentro del modelo no se adquieren vacas externas sino que los reemplazos se obtienen a partir de la crianza, lo cual garantiza el flujo de material genético nuevo y se reducen los costos. Finalmente, se agregaron los costos adicionales como abonos, sal, vacunas, inseminación y cuidado.



Gráfica 1: modelo ganadería

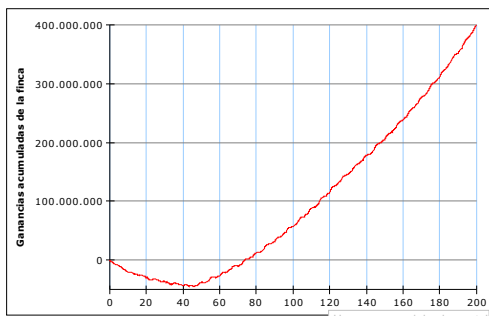
Para el modelo de los cultivos se consideraron los tres cultivos expuestos anteriormente. A cada cultivo se le destinó un porcentaje de terreno buscando el mejor rendimiento. Se tuvo en cuenta la producción por hectárea de cada cultivo, el precio promedio reciente, el tiempo que demora en ser cultivado, y gastos de producción. Se tomó la mano de obra aportada por la unidad familiar y sin aporte de la unidad familiar, pero debido a que el modelo se da en terrenos de más de seis hectáreas, es posible que la necesidad de contratos se dé por cada cinco hectáreas adicionales, lo cual trae más gastos.

Al final, se consideran los gastos e ingresos totales de toda la parcela, es decir, la suma de los ingresos menos los costos de la parte ganadera y la parte agraria.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de los resultados según el tamaño total de la parcela y de su distribución

Dentro del modelo se tomaron diferentes tamaños de parcela con diferentes distribuciones de terreno para observar cuál era el comportamiento del sistema. La unidad más pequeña son parcelas de seis hectáreas donde la distribución del terreno que asumimos inicialmente es de 50% para ganadería y 50% para los cultivos. El flujo de caja acumulado se puede observar en la siguiente gráfica.

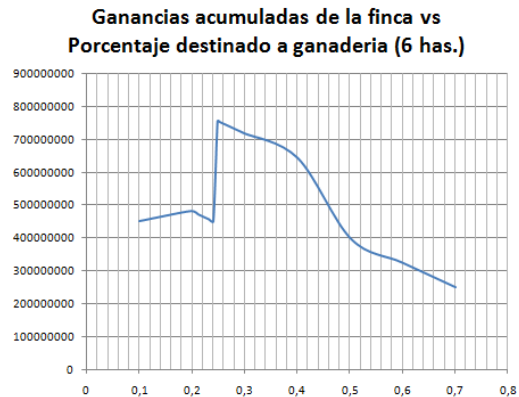


Gráfica 2: flujo de caja acumulado para terrenos de cinco hectáreas y distribución 50-50

Se puede ver que el campesino debe invertir en los primeros meses sin tener flujos positivos, hasta que en el mes 74 (alrededor de seis años), comienza a pasar su punto de equilibrio.

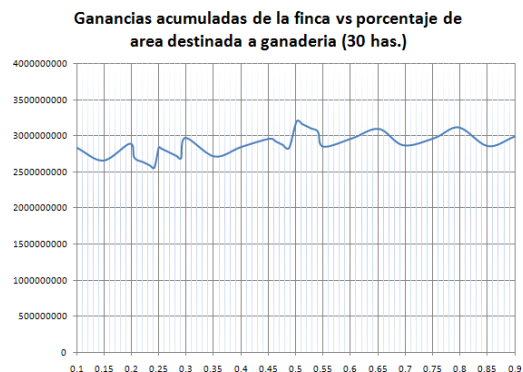
Cuando el área de cultivo es pequeña o próxima a las seis hectáreas, a medida que se incrementa el área para ganadería, los rendimientos totales al final del periodo de simulación son menores. Ocurre lo

contario si se incrementa el área con destino agrícola. Como se puede ver para el caso de 25% para ganadería y 75% para agricultura, las ganancias obtenidas son máximas.



Gráfica 3: Valor máximo de flujo de caja para las combinaciones de ganadería - agricultura en una unidad productiva de seis hectáreas.

Finalmente se analizó el sistema para parcelas de más hectáreas. Aquí se muestra el análisis resultante para 30 hectáreas, el máximo considerado. En este caso, los resultados cambian, debido a que se tienen en cuenta unos valores discretos de hectáreas para la capacidad de la ganadería, lo cual da las oscilaciones que se evidencian en la gráfica 4. Allí se ve que la máxima rentabilidad final se obtiene cuando la combinación es de 50% para ganadería y 50% para agricultura. La gran disponibilidad de terreno en este caso permite tener un hato lechero más grande y por lo tanto permite también al campesino salir más fácilmente de los créditos que se supone contrae inicialmente.



Gráfica 4: Valor máximo de flujo de caja para las combinaciones de ganadería - agricultura en una unidad productiva de 30 hectáreas.

- **Análisis general de los resultados**

Dentro del análisis más detallado del sistema, se estableció que la mejor distribución para los cultivos es de 30% para mora, 30% para papa y 40% para mortiño, siendo la distribución que más ganancia reporta.

Estas proporciones permiten que el campesino obtenga en las primeras etapas un ingreso constante por parte de la ganadería mientras los cultivos están en su etapa de crecimiento. Luego los cultivos le resultarán una mejor inversión, pero los ingresos a partir de éstos depende de temporadas. Por lo cual el campesino siempre necesitará un buen sustento diario que le permita cubrir otros gastos; la producción que obtiene de la lechería le reporta este sustento. El mortiño dará los resultados más tardíos, pero es el menos costoso de mantener, además es el que finalmente le reporta mayor ganancia.

7. CONCLUSIONES

- Gracias a los resultados obtenidos, se pudo observar cómo de acuerdo a un buen uso del terreno y los recursos, mediante el modelo planteado se muestra la factibilidad que le permite al campesino asegurar su sostenimiento económico a largo plazo a partir de la ganadería extensiva y del cultivo de productos como la mora, la papa y el mortiño en las zonas de Colombia, que generalmente corresponden a lugares con difícil geografía y acceso.

- La optimización del modelo permitió aportar al análisis una adecuada distribución del terreno, teniendo en cuenta que las parcelas más pequeñas se deben dedicar poco a la ganadería y a medida que estas áreas aumentan, se puede invertir la tendencia, dedicando más a la ganadería que a la agricultura. En ambos casos la complementariedad entre la ganadería y la agricultura se hace necesaria para el sostenimiento de la unidad productiva.

- El modelo planteado en este trabajo al ser implementado en nuestro país para la reubicación de desplazados, reduciría el índice de pobreza al mostrar cómo podría plantearse el desarrollo de procesos productivos en zonas como las del análisis y esto permitiría el acompañamiento en las primeras etapas del emprendimiento, para que el proceso augure su sostenibilidad en el tiempo.

- Es importante continuar la evaluación con diferentes cultivos que también corresponden a los

que habitualmente son sembrados en estos pisos térmicos.

8. BIBLIOGRAFÍA

DE GREIFF CUARTAS, Samuel y QUINTERO, Luis Antonio. Modelo Agronómico sostenible para pequeños agricultores. Trabajo presentado al VII Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Santa Marta. 2009.

- Corantioquia. Conozcamos y usemos el mortiño. 28 págs. Medellín. 2009.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas Colombia. La cadena de la papa. 2005

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Alianza para la producción y comercialización de mora en los municipios de La Unión y Marinilla. 2007

- Cevipapa. Centro de desarrollo tecnológico, la cadena agroalimentaria de la papa "Cevipapa".

- NICHOLSON, Chuck. La agricultura como sistema dinámico y complejo: Sistemas de producción ovina en México. 2006.

- LONDOÑO MÁRQUEZ, Juan Carlos. Informe UMATA. 2010.

- Departamento Técnico Confecampo. Análisis del mercado de la papa en Colombia. 2008

- ATEHORTÚA QUICENO, Carlos Guillermo. Posicionamiento estratégico regional. 2008.

- RÚA FRANCO, Michael. Las leyes universales de André Voisin para el pastoreo racional. 2009.

- ECHEVERRI GIRALDO, Alexánder. Pastoreo inteligente. 2009.

- MURILLO GARCÍA, Gabriel; PUERTA VIANA, Francisco José. Pastos y forrajes. 2002.

- Corpoica. La visión de Corpoica para el mejoramiento del hato bovino nacional. 2006.

- IAASTD. Hacia una agricultura multifuncional en pos de la sostenibilidad social, ambiental y económica. 2006.

- Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica. Descripción de las condiciones del mercado mundial por fruta, mora. <http://huitoto.udea.edu.co/FrutasTropicales/moracom er.html>

- FRANCO V., Héctor; CARDONA A., Luis; MENDOZA, Nesis. Pasto kikuyo. <http://publimvz.galeon.com/>

9. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la familia Ochoa y al señor Víctor Rafael Puerta, habitantes de la zona de Yarumal, por la información suministrada acerca de la ganadería y los cultivos. También agradecemos al Dr. Juan Darío Puerta, por la información suministrada sobre los terrenos fríos y sobre los planes de desarrollo actuales del gobierno en nuestro país.

Mecanismo para la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala

Cooperation mechanism for large-scale social dilemmas involving resource depletion

Jorge Andrick Parra Valencia, Ph.D. (C)¹

japarra@unab.edu.co

Grupo de Investigación en Pensamiento Sistemático

Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB

Doctorado en Ingeniería. UNALMED.

Isaac DynerRezonzew, Ph.D.

idyner@unal.edu.co

Grupo de Investigación en Sistemas e Informática

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Resumen: Este artículo describe un mecanismo diseñado para promover la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El mecanismo integra la relación núcleo de la teoría de cooperación para dilemas sociales de recurso de pequeña escala, percepción de amenaza de daño por la reducción de la disponibilidad del recurso y elementos de complejidad. Se presentan resultados obtenidos del modelamiento y simulación de modelos en Dinámica de Sistemas basados en el mecanismo desarrollado. Los resultados sugieren que el mecanismo explica cómo es posible promover el comportamiento cooperativo en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. En todos los casos la complejidad dinámica afecta la cooperación. La percepción de daño puede ser usada para promover la cooperación dentro de grupos que carecen de historia de cooperación. Los individuos pueden comenzar a cooperar aplicando una norma de cooperación aprendida luego de un periodo de restricción de acceso al recurso común.

Palabras Clave: cooperación, dilemas sociales, situaciones de gran escala, complejidad dinámica.

Abstract: We design an explanatory mechanism to explain cooperation discrepancies in Large-scale social dilemmas that involve resource depletion. The mechanism integrates the main core of the theory of cooperation for Small-scale social dilemmas, referring resource depletion, threat perception of inflicting damage to an individual (i.e. punishment) and elements of dynamic complexity like delays and

No linear relationships. We present results about system dynamics models developed according our mechanism. Results suggest that the mechanism explains cooperative behavior in Large-scale social dilemmas that involve resource depletion. In these cases dynamic complexity affects cooperation. They also suggested that the perception of damage could be used to promote cooperation within groups that lack a history of cooperation, as people can start cooperating after a period of restrictions using a learned cooperation norm.

Keywords: cooperation, social dilemmas, mechanism, large-scale situations, dynamic complexity

1. INTRODUCCIÓN

Los dilemas sociales ocurren en situaciones de interdependencia, en las que los individuos enfrentan incentivos de corto plazo que los llevan a escoger acciones individualistas, cuando podrían generar acuerdos para cooperar y obtener el mayor pago posible para los individuos y el grupo [1]. Cualquier solución que un grupo aplique para enfrentar un dilema social requiere definir un esquema para que el grupo gane la confianza necesaria para salir del dilema [2]. Los dilemas sociales, entendidos como el conflicto entre una racionalidad basada en los supuestos del modelo de elección racional y el bienestar general, ofrecen variedad de situaciones en las que los recursos comunes pueden sufrir congestión, contaminación y sobreexplotación y los bienes públicos pudieran no recibir la provisión suficiente [3].

¹Candidato a Doctor en Ingeniería Área Sistemas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

Según la teoría de juegos no cooperativa para un encuentro y los dilemas repetidos finitos, los acuerdos que requiere la cooperación, si aparecen, deben ser forzados por una autoridad externa [2]. Si todos los individuos tanto en dilemas de un encuentro como en dilemas repetidos finitos asumen una estrategia consistente con el modelo de elección racional, todos ellos recibirán un pago menor que el que podrían recibir con al menos una alternativa [1]. Debido a que la opción de menor pago es un equilibrio, ningún individuo está motivado de manera independiente en cambiar su elección, dadas las elecciones de los demás participantes [3]. Este tipo de situaciones se considera dilema social, pues existe al menos una alternativa que podría producir un mejor pago para todos los participantes [1]. El problema de acción colectiva (cooperación) consiste en buscar maneras para que la gente tenga la suficiente confianza para cooperar y lograr la ganancia del dividendo por cooperación, que es la diferencia entre el resultado previsto por el modelo de elección racional y el producido cooperativo [2].

Los dilemas sociales pueden aparecer tanto en la provisión de bienes públicos como en la apropiación de recursos comunes de acceso abierto, como se ilustra en la Tabla 1, que clasifica los bienes de la economía de acuerdo con la posibilidad de excluir a beneficiarios y a su sustractibilidad [3].

		Sustractibilidad	
		baja	alta
Exclusión	difícil	Bienes públicos	Recursos Comunes
	sencilla	Bienes club	Bienes privados

Tabla 1. Esquema de clasificación de los bienes de la economía según el grado de sustractibilidad y de exclusión. Basado en [3].

Los dilemas sociales de gran escala ofrecen una oportunidad de desarrollo teórico [5]. A continuación se argumentará en este sentido. Se presentarán los supuestos de la teoría no cooperativa y cooperativa de dilemas sociales, para luego explicar por qué sus previsiones no aplican directamente a los dilemas sociales de gran escala.

1.1 TEORIA NO COOPERATIVA DE LOS DILEMAS SOCIALES

La teoría no cooperativa supone que los individuos utilizan el modelo de elección racional para orientar sus decisiones, tienen información completa y perfecta con respecto a la situación y poseen la potencia racional y de cálculo necesaria para encontrar la solución óptima [11]. La teoría sugiere

que los individuos no serán capaces por sí mismos de salir del dilema social, por lo que requieren de un agente externo que supervise el cumplimiento de los acuerdos y que permita la confianza necesaria para superar el dilema [7, 8]. Se supone que los individuos no tienen ni la posibilidad ni la voluntad de comunicarse frente a frente para lograr acuerdos por sí mismos [3]. En esta teoría no se asume como posible la cooperación [9]. La teoría no cooperativa considera que un grupo de individuos que se encuentra en un juego con uno o más equilibrios Nash en una única interacción producirá menos que el pago óptimo posible para todos los involucrados [4]. El equilibrio conseguido es del tipo Pareto Inferior [10]. Una mejor salida (Pareto Superior) podría lograrse si aquellos involucrados decidieran cooperar seleccionando estrategias diferentes a las del sub juego no cooperativo. Es decir, los grupos de individuos enfrentan situaciones en las que, debido a conflictos entre una racionalidad individualista y el interés general, pueden obtener pagos menores que el mejor pago posible [4]. De esta forma, existen situaciones de interdependencia en donde la búsqueda del interés individual de corto plazo lleva a un estado de menor bienestar que el que se podría alcanzar si todos deciden cooperar [2].

La Tabla 2 en presenta las características y recomendaciones políticas para las teorías cooperativa y no cooperativa.

	Teoría No Cooperativa	Teoría Cooperativa
<i>Características</i>	Perfecta racionalidad [9]; Información perfecta [11]. Un encuentro o encuentros finitos.	Racionalidad limitada [12]. Información retardada y distorsionada [13,14]. Varios encuentros repetidos. Dependencia a las condiciones iniciales [15].
<i>Recomendaciones políticas</i>	Control por un agente externo [8]. Asignación de derechos de propiedad privada [16].	Cooperación [4]

Tabla 2. Características y recomendaciones políticas para la teoría no cooperativa y cooperativa.

Los acuerdos que promueven la cooperación requieren de confianza para que los individuos los adopten [4]. La forma como los grupos construyen esta confianza define la pregunta más importante de la acción colectiva en el presente [2,5]. La literatura ofrece diferentes explicaciones con respecto a la forma como los grupos encuentran la confianza necesaria para soportar los acuerdos que permiten controlar los comportamientos individualistas y enfrentar así los dilemas sociales [2, 4, 5, 17]. La pregunta acerca de la forma como los grupos generan la suficiente confianza para superar los dilemas sociales ha recibido respuesta desde la Teoría de Juegos no cooperativos para un encuentro y los dilemas sociales repetidos finitos [2]. Según la Teoría

de Juegos no cooperativa, para un encuentro y los dilemas repetidos finitos los acuerdos, si aparecen, deben ser forzados por una autoridad externa [2]. Si todos los individuos, tanto en dilemas de un encuentro como en dilemas repetidos finitos asumen una estrategia consistente con el modelo actualmente aceptado de elección racional individual, todos los individuos y el grupo como colectivo recibirán un pago menor que el que pudieran recibir con al menos una alternativa [4].

1.2 TEORÍA COOPERATIVA PARA DILEMAS SOCIALES DE PEQUEÑA ESCALA

La tabla 3 presenta una revisión de la literatura que caracteriza las predicciones de la teoría de juegos en función de la posibilidad de comunicación y la incertidumbre.

Aspectos Revisados/Teoría Considerada	Teoría de Juegos No Cooperativa (Sin comunicación)	Teoría de Juegos No cooperativa (con incertidumbre)	Teoría de Juegos Cooperativa (con comunicación, incertidumbre y acuerdos forzados)
<i>Características del Juego</i>	- Teoría de juegos no cooperativa para un encuentro. - Dilemas sociales repetidos finitos.	- Juegos repetidos con número no conocido de repeticiones. - Incertidumbre acerca de los tipos de jugadores	Incertidumbre acerca de la duración de la situación o la irracionalidad para responder cooperación con cooperación.
<i>Acuerdos</i>	Acuerdos, si son seguidos, deben ser forzados por autoridades externas [8, 18, 19]	Acuerdos, sin son seguidos, deben ser forzados por autoridades externas [8, 18, 19]	Los jugadores pueden comunicarse y hacer acuerdos enforzables [24, 17].
<i>Modelo de elección</i>	- Elección racional para el individuo. - Conocimiento común sobre la estructura, los pagos y todas las combinaciones de estrategias. - Las decisiones se toman de manera independiente y a menudo simultáneamente. - No existe actor externo presente para forzar los acuerdos.	- Elección racional para el individuo. - Conocimiento común sobre la estructura, los pagos y todas las combinaciones de estrategias. - Las decisiones se toman de manera independiente y a menudo simultáneamente.	Una teoría amplia del comportamiento humano (conocedores falibles [20], racionalidad acotada, capacidad de aprendizaje de normas, comportamiento basado en normas)
<i>Predicciones</i>	Pareto-inferior (P-I)	- Pareto-óptimo (P-O) o cercano (bajas tasas de descuento y posibilidad de castigo) - (Un tipo irracional de jugador Reciprocador Cooperación) Todo es predicho entre (P-O) y (P-I).	Cerca a Pareto-óptimo (P-O). La comunicación mejora. La cooperación aún sin realimentación acerca de la decisión tomada en cada encuentro (también aplica para juegos de un encuentro y para juegos finitamente repetidos).

Tabla 3. Revisión comprensiva de la literatura para las teorías de juegos cooperativa y no cooperativa.

En el ámbito de la teoría cooperativa para dilemas de recurso de baja escala, la cooperación puede aparecer si en la situación se presentan algunas condiciones especiales [4]. Si la situación consiste en un único encuentro alrededor del recurso y no existe

posibilidad de comunicación, los resultados de la experimentación y de los trabajos de campo soportan lo previsto en la teoría no cooperativa: la cooperación no aparece [7, 9, 18]. Sin embargo, si la situación permite múltiples encuentros y existe la posibilidad de la comunicación e incertidumbre, la cooperación aparece [4], como se ilustra en la tabla 3.

El ámbito teórico cooperativo explica la aparición de la cooperación mediante una configuración que incluye un núcleo de relaciones fundamentales y un conjunto de variables dependientes de la situación, denominadas variables situacionales [4]. Esta concepción de cooperación se soporta en la posibilidad de construir reputación alrededor de la historia de cooperación en múltiples encuentros alrededor del común, lo que permite tener confianza en el cumplimiento de acuerdos de intercambio que posibilitan lograr beneficios de largo plazo [4]. Este mecanismo se hace operativo gracias a la reciprocidad, que se asume como la propensión a generar intercambios en donde se confía en que los otros cooperarán en el presente para lograr beneficios futuros [2]. La reciprocidad implica la aplicación de castigos a quienes no cooperen [21].

1.3 DILEMAS SOCIALES DE RECURSO DE GRAN ESCALA

Los dilemas sociales de gran escala son conflictos entre la racionalidad individualista y el bienestar general que ocurren por la interacción de un gran número de personas, que poseen características diferentes [24]. En dichas situaciones no se puede asumir la posibilidad de comunicación cara a cara, aunque es posible que la situación ofrezca otras formas de comunicación [25]. La realimentación aparece de forma distorsionada y retardada [5]. La literatura discute sobre la posibilidad de extender la teoría de cooperación de los dilemas sociales de pequeña escala a los de gran escala [5, 25]. Las características generales de los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala se describen en la tabla 4.

Características	Grupos numerosos. Complejidad dinámica [13]. Información retardada y distorsionada [26]. Expectativa de escasez [27]. Diversidad
Pregunta	¿ La teoría de cooperación de dilemas sociales de pequeña escala aplica al diseño de un mecanismo para la cooperación en dilemas sociales de gran escala? [5, 25]

Tabla 4. Características, preguntas y referencias seleccionadas para los dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

Este tipo de situaciones presenta un conjunto de características que están lejos de ser cubiertas por las

condiciones de la teoría cooperativa de dilemas sociales de recurso de pequeña escala [5, 23]. La pregunta acerca de la capacidad de expansión de la teoría cooperativa de pequeña escala para la explicación de dilemas sociales de gran escala era una pregunta abierta hasta la realización de esta investigación [5].

2. MÉTODO

El mecanismo fue diseñado siguiendo los lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas. La herramienta de simulación fue VensimDSS Versión 5.7 para Windows, que se ejecutó sobre Ubuntu versión 10.04 mediante el emulador Wine.

3. RESULTADOS

Este artículo presenta el diseño de un mecanismo para la cooperación en dilemas sociales de recurso de gran escala. El mecanismo es una expresión de la teoría de dilemas sociales de pequeña escala en la que la expectativa de restricción y escasez, entendidas como una forma de castigo, la cooperación de corto plazo y la cooperación de largo plazo, así como la tentación de aprovecharse de la cooperación de los demás, en un ámbito caracterizado por la complejidad dinámica, definen la variación de la cooperación. El mecanismo se implementó en cinco modelos de simulación: uno sobre la crisis de electricidad en Colombia 1992, la crisis de electricidad en California 2001, una institución de cooperación para reducir la concentración de uno de cooperación cooperativa de electricidad y uno sobre congestión en una red de computadores.

3.1 HIPÓTESIS DINÁMICA

La figura 1 presenta la hipótesis dinámica como expresión del mecanismo diseñado. El mecanismo está conformado por cuatro ciclos de realimentación. Dos de balance y dos de refuerzo.

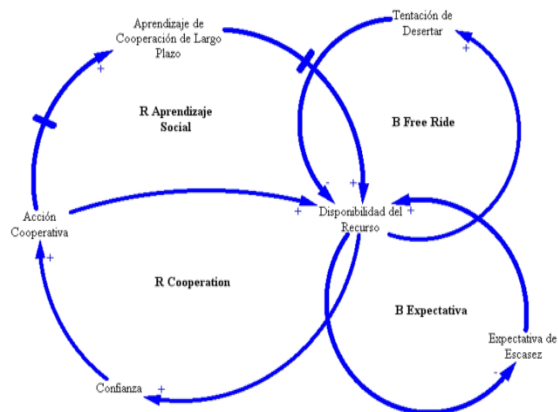


Figura 1. Hipótesis dinámica general

El ciclo Free ride representa la tendencia de los individuos a aprovecharse de la cooperación de los grupos y está basado en [15]. El ciclo de expectativa representa el proceso de cooperación por expectativa de daño por deterioro de la disponibilidad del recurso, y está basado en el trabajo de Schelling sobre castigo [28]. Los ciclos de refuerzo son los de cooperación y aprendizaje de cooperación como norma de largo plazo [5]. El ciclo de cooperación representa el proceso de decidir si se coopera o no se coopera en función de la confianza de cooperación y está basado en el trabajo de Ostrom [4]. El ciclo de cooperación como norma de largo plazo describe el proceso de aprendizaje de cooperación que ocurre durante la cooperación basada en confianza y está sustentada en los trabajos de Biel [5] y Ostrom [3, 4]. Las simulaciones y pruebas se pueden organizar de acuerdo a los resultados ofrecidos que se explican a continuación.

3.2 EL MECANISMO INTEGRA COMO UNIDAD TEORÍAS PERTINENTES.

El mecanismo institucional presentado extiende la Teoría de dilemas sociales de recurso de pequeña escala [4] a situaciones de dilema social de recurso agotable de gran escala, integrando en una unidad la percepción de amenaza de daño por deterioro del recurso [28] y elementos de complejidad dinámica [13, 29, 30]. Todas las simulaciones y pruebas aplicadas al modelo y a las simulaciones sugieren que el mecanismo explica el comportamiento cooperativo en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. La tabla 7 presenta las pruebas estadísticas aplicadas a los modelos. La tabla 8 ilustra cómo las pruebas aplicadas a los modelos desarrollados con base en el mecanismo no pudieron refutar la hipótesis dinámica general propuesta, por lo que se mantiene vigente. Esta investigación sugiere que es posible

entender cómo la cooperación, el castigo y la amenaza de castigo por degradación de un recurso común se relacionan en situaciones dinámicamente complejas.

3.3 EL MECANISMO EXPLICA LA COOPERACIÓN

El mecanismo diseñado da cuenta de la cooperación en los modelos diseñados. Las tablas 7, 10 y 11 presentan el desempeño del modelo en la explicación de la cooperación en los casos modelados.

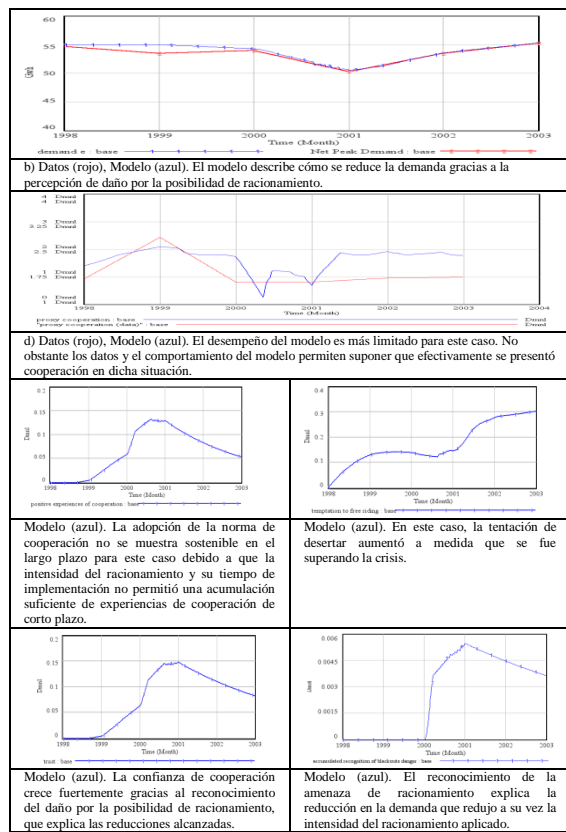


Tabla 5. Simulaciones Modelo Crisis de Electricidad California.

Variable	Porcentaje Error Raíz Media Cuadrada	Error Medio Cuadrado	U(M)	U(S)	U(C)	¿Refuta la hipótesis dinámica?
Maximum demand	0.01	4675.38	0	0.01	0.99	No, error no sistemático
Net peak demand	0.01	0.48	0.15	0	0.85	No, error no sistemático
Co2 ppmv	0.01	9.95	0.52	0.22	0.26	No, objetivo del modelo no era replicar sino evaluar institución hipotética.

Tabla 6. Síntesis de evaluación de las estadísticas de Theil para los tres modelos desarrollados con base en el mecanismo institucional propuesto.

El mecanismo diseñado explica, en el sentido de dar cuenta, el comportamiento cooperativo en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. Esto se ilustra en la tabla 6, en la que se revisa si la hipótesis dinámica es refutada por las pruebas aplicadas. La hipótesis se mantiene vigente luego de las pruebas aplicadas.

La tabla 7 ilustra la evaluación de las estadísticas obtenidas para los modelos y su interpretación en función de la evaluación de la hipótesis dinámica.

Item/modelo	Crisis Colombia 1992	Crisis California 2001	Crisis Emisiones CO2
Nombre variable de datos	maximumdemand	net peakdemand	CO2 ppmv data
Nombre variable modelo	demand	demand	CO2 ppmv
Número de puntos	45	6	46
MSE	4675.38	0.48	9.95
RMSPE	0.01	0.01	0.01
Data Mean	6080.62	53.53	341.09
Simulation Mean	6080.4	53.8	343.36
r	0.98	0.92	1
R2	0.96	0.85	0.99
U(M)	0	0.15	0.52
U(S)	0.01	0	0.22
U(C)	0.99	0.85	0.26
TheilCheck	1	1	1

Tabla 7. Resultados pruebas estadísticas aplicadas a los modelos diseñados.

3.4 COOPERACIÓN, CONDICIONES INICIALES Y ESTRUCTURA

La hipótesis dinámica y los resultados de simulación sugieren que percepción, expectativas y complejidad dinámica pueden ser integradas en un modelo que permita construir explicaciones sobre la cooperación y el aprendizaje social sin dependencia de las condiciones iniciales de la confianza de cooperación ocurridas en dilemas sociales de recurso de gran escala. Este resultado puede encontrar soporte en los trabajos de Dinámica de Sistemas que sugieren que los individuos pueden reducir la efectividad de su desempeño en la administración de un recurso natural renovable [29] como en un inventario [13].

Las pruebas de simulación permiten sugerir que es más alta la efectividad de la confianza de cooperación para reducir la demanda de electricidad cuando la percepción sobre el castigo y la amenaza de castigo por deterioro del recurso común es alta, en simulaciones y momentos dentro de la simulación en donde se varía de forma uniformemente distribuida la percepción inicial de la reputación en el grupo. El modelo y su simulación confirman la dependencia del desempeño de la cooperación a las condiciones iniciales de la percepción de la confianza de cooperación en el grupo. Véase la Tabla 8.

La estructura puede contrarrestar la dependencia a las condiciones iniciales, como se ilustra en el caso de congestión en red de computadores, en donde la confianza de cooperación converge a pesar de los distintos valores iniciales de la confianza inicial de cooperación. Los dos casos de dependencia y manejo de la dependencia a las condiciones iniciales se ilustran en la tabla 8.

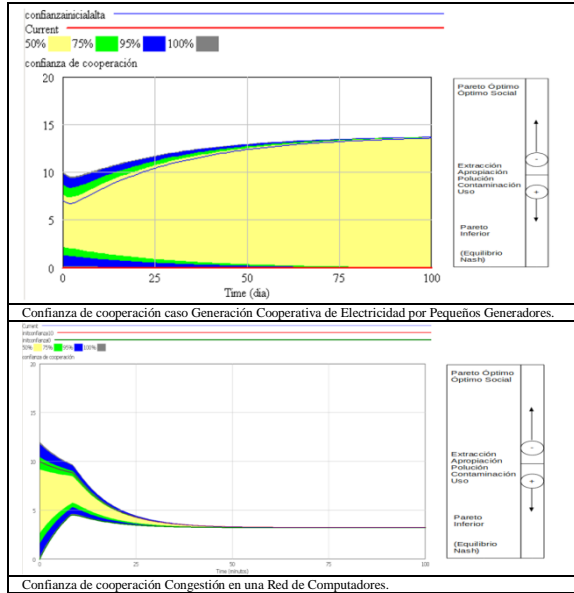


Tabla 8. Análisis de sensibilidad que ilustra cómo la dependencia a las condiciones iniciales es contingente a la estructura.

3.5 LA REALIMENTACIÓN ES LA MICRO ESTRUCTURA DE LA COOPERACIÓN

Bajo las condiciones que caracterizan a los dilemas sociales, la cooperación requiere de la realimentación de la información acerca de las consecuencias de la acción colectiva del grupo. Esto aplica también en dilemas sociales de recurso de gran escala. El sistema propuesto hace explícito un mecanismo basado en realimentación, condicionado por la complejidad dinámica, con el que fue posible la cooperación a pesar de que las condiciones iniciales no fueran suficientes para que ella aparezca y fuese sostenible. La cooperación requiere de realimentación acerca de las acciones cooperativas de los demás. Los resultados sugieren que la realimentación de los resultados de la cooperación afecta la variación de la cooperación.

3.6 LA COMPLEJIDAD DINAMICA CONDICIONA LA COOPERACIÓN

La complejidad dinámica afecta la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. La tabla 9 ilustra el nivel de complejidad dinámica que tienen los modelos desarrollados. Todos los modelos diseñados cuentan con fuertes retardos, relaciones no lineales y estructuras para representar el cambio en las percepciones.

La cooperación es afectada por la complejidad dinámica. Estos resultados son consistentes con los trabajos de Sterman [13] y Moxnes [29] sobre los efectos de la complejidad dinámica en el desempeño de los seres humanos en situaciones relativamente simples, como manejar un inventario o un recurso natural. En este sentido se abre una posibilidad de investigación para medir el impacto que la complejidad dinámica tiene sobre la acción colectiva y la forma como éste se podría mitigar.

Item/modelo	Modelo Crisis Colombia 1992	Modelo Crisis California 2001	Modelo Institución Cooperación Reducción CO2
Número de Retardos	8	4	6
Tiempo de ajuste retardo mayor magnitud	5.3 meses	5 meses	7300 meses
Número de estructuras de representación de percepción	1	2	2
Número de relaciones no lineales	14	8	9

Tabla 9. Resumen elementos de complejidad dinámica incluidos en los modelos de caso diseñados.

3.7 LA PERCEPCIÓN DE DAÑO POR DETERIORO DEL RECURSO PUEDE PROMOVER LA COOPERACIÓN

La percepción de daño puede ser usada para promover la cooperación en grupos que carecen de historia de cooperación previa, incluso antes de una restricción de uso del recurso común. En el modelo de la crisis Colombiana de electricidad de 1992-1993, el mecanismo permitió dar cuenta de la cooperación antes de iniciar el racionamiento como una respuesta a la amenaza de daño por deterioro del recurso (véase tabla 10). La cooperación alcanzada luego de finalizado el racionamiento es explicada por el mecanismo como aprendizaje de cooperación como norma de largo plazo [5].

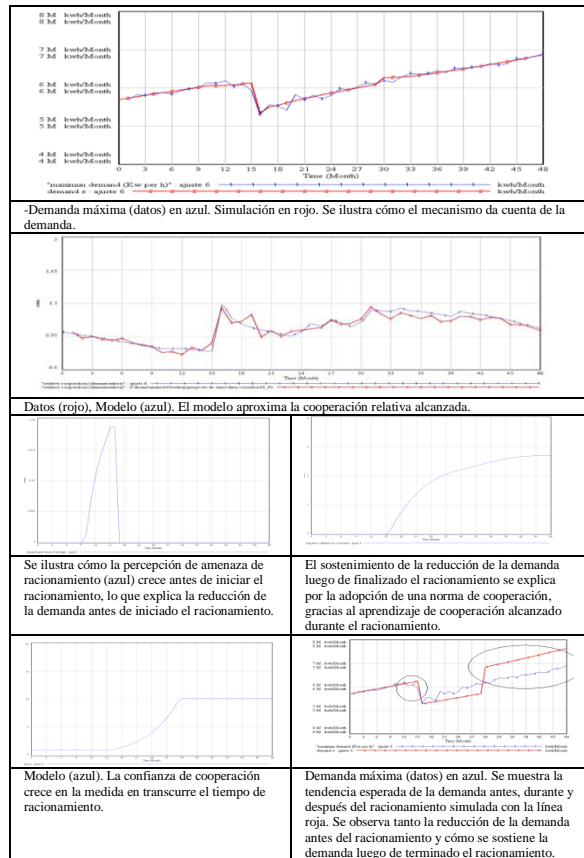


Tabla 10. Simulaciones modelo crisis de electricidad Colombia 1992.

En el modelo de la crisis de California 2001, el mecanismo da cuenta de la reducción de la demanda de electricidad fundamentalmente como una respuesta a la amenaza de daño por deterioro del recurso y una rápida capacidad de aprendizaje de cooperación como norma de largo plazo. Véase la tabla 5.

En el modelo de la institución, basado en cooperación para la reducción de la concentración de CO₂ en la atmósfera, se comparó el desempeño de la cooperación al variar el valor para la vida media del reconocimiento de daño por deterioro del recurso común. Con una vida media de 33 años para el reconocimiento de daño por deterioro del recurso, luego de casi 100 años la simulación muestra cómo se reduce la concentración de CO₂ a valores del año 1958. Véase la Tabla 11.

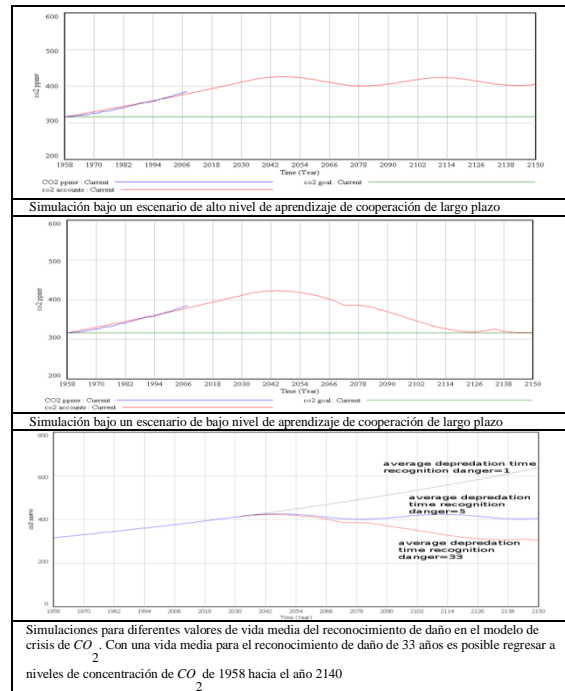


Tabla 11. Simulaciones reducción concentración CO₂ en la atmósfera mediante cooperación.

En el mecanismo diseñado, la percepción de daño mejora la cooperación a pesar de la ausencia de historia de cooperación. En este sentido, la cooperación en el corto plazo puede crear condiciones para generar cooperación como norma en el largo plazo. El modelo evaluado frente al caso de la crisis de electricidad colombiana de 1992 se explica cómo la gente logra mantener el ahorro en el consumo de electricidad luego de haber finalizado el racionamiento (véase la tabla 10). El mecanismo explica cómo la gente es capaz de aprender cooperación como una norma sin una historia previa de cooperación. Se incluyó un ciclo que representa el proceso de aprendizaje de cooperación de largo plazo. Este ciclo explica cómo luego experiencias prolongadas de percepción de daño y de restricción de la disponibilidad de un recurso común, los grupos pueden limitar voluntariamente su apropiación a un nivel similar al de la restricción misma, como ocurre en el modelo de la crisis de electricidad de Colombia de 1992-1993. Véase la tabla 10.

3.8 LA COOPERACIÓN COMO NORMA PUEDE APRENDERSE EN EL LARGO PLAZO LUEGO DE UN PERIODO DE RESTRICCIÓN

Las personas, luego de una crisis, pueden adoptar normas de cooperación y sostener la cooperación

luego de una fuerte restricción, gracias al desarrollo de confianza y cooperación en el corto plazo. Las relaciones núcleo de la cooperación [3] sugieren que la cooperación presenta dependencia a las condiciones iniciales [15]. Con una confianza de cooperación inicial de cero no aparece la cooperación. Una historia de altas contribuciones en encuentros pasados promueve la cooperación en el futuro. No obstante, en el mecanismo diseñado, la percepción de daño mejora la cooperación a pesar de la ausencia de historia de cooperación. En este sentido, la cooperación en el corto plazo puede crear condiciones para generar cooperación como norma en el largo plazo. Véanse tablas 10 y 11.

El mecanismo supone una explicación sobre la forma como se puede alcanzar la cooperación como objetivo social [34]. Se asumió que un mecanismo es una estructura causal que explica cómo un comportamiento deseado, en este caso la cooperación, puede ser alcanzado en una situación particular [34]. Este artículo ilustra cómo la Dinámica de Sistemas puede ser aplicada para estudiar dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.

4. DISCUSIÓN

La tabla 12 ilustra la confrontación realizada entre los resultados obtenidos y la literatura. La hipótesis que ilustra la figura 1 se basa en una extensión del ciclo fundamental de relaciones núcleo para los dilemas sociales de pequeña escala propuesto por Ostrom [4], el castigo como percepción de daño [28], el aprendizaje de la cooperación como norma de largo plazo [5] y la tentación de desertar [24].

La hipótesis integra un ciclo de tentación de desertar, como fue propuesto por Castillo y Saisel [15], quienes ofrecen un modelo que da cuenta del procesamiento promedio de la información de experimentos realizados con pescadores en un dilema social de recurso de pequeña escala, mediante un modelo construido con Dinámica de Sistemas que incluye una interpretación de las relaciones núcleo que explican la cooperación propuestas por Ostrom [36].

Resultado	Referente de la literatura confrontado	Similitudes	Diferencias
<i>El mecanismo extiende e integra teorías como unidad.</i>	[4,15]	Explican la cooperación	En la teoría de Ostrom, la cooperación se basa en confianza exclusivamente. Desarrollado para condiciones distintas. Ostrom no incluye la percepción de daño y la tentación de desertar. No consideran los efectos de la complejidad dinámica. No utilizan Dinámica de Sistemas.
<i>El mecanismo diseñado da cuenta de la</i>	[6,4,35]	Es posible la cooperación en dilemas sociales de	Goldman y Markoczy sugieren que la cooperación explica la crisis de California 2001.

<i>cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala.</i>		recurso de gran escala.	
<i>La complejidad dinámica condiciona la cooperación</i>	[13, 29]	La complejidad dinámica condiciona el desempeño de la cooperación.	Sterman estudia la admon de un inventario. Moxnes la admon de un recurso natural renovable con institución para evitar la Tragedia del Terreno Común.
<i>La percepción de daño por deterioro del recurso puede promover la cooperación</i>	[28]	La percepción de daño puede promover ciertas decisiones.	No se hace referencia a los dilemas de gran escala.
<i>La cooperación como norma puede aprenderse en el largo plazo luego de un periodo de restricción.</i>	[5]	La cooperación puede ser asumida como norma en dilemas sociales de gran escala.	No se supone una forma específica de integración a la teoría de pequeña escala, aunque supone la integración asumiendo cooperación como norma.

Tabla 12. Discusión que compara los resultados obtenidos con la literatura.

El mecanismo incluye un ciclo de percepción de amenaza de daño por deterioro del recurso común, inspirado en la amenaza de castigo y sus efectos en la decisión, propuesto por el profesor Schelling. En “The Strategy of Conflict” [28].

Este trabajo ofrece una respuesta a la pregunta sobre la posibilidad de extensión de la teoría de dilemas de pequeña escala a los de gran escala [5]. El trabajo continúa el desarrollo del marco explicativo propuesto por Ostrom [4], al proponer una extensión para situaciones dinámicamente complejas, tales como los dilemas sociales de gran escala.

Las personas tienen dificultades para enfrentar situaciones condicionadas por la complejidad dinámica y la cooperación en este tipo de condiciones no es la excepción. La administración de un inventario [13] o de un recurso natural [29] es problemática debido a la complejidad dinámica. El ciclo fundamental de relaciones que explican la cooperación en situaciones de pequeña escala requiere de información acerca de los resultados de cooperación en encuentros pasados para promover nueva cooperación [4]. En los modelos desarrollados los retardos, la percepción y las relaciones no lineales condicionan la variación de la cooperación. Los modelos y sus simulaciones sugieren que la complejidad dinámica y la inercia afectan el desempeño de la cooperación, como se ilustró en el modelo de reducción de la concentración de CO₂ en la atmósfera en la tabla 11. Los resultados obtenidos sugieren que el mecanismo diseñado se constituye en un avance en la explicación de la cooperación en situaciones dinámicamente complejas. El mecanismo

ofrece un aporte al trabajo de Ostrom [4] y Castillo [15]. El estudio de sensibilidad presentado en la tabla ocho confirma la dependencia de las trayectorias de las variables del modelo a las condiciones iniciales de la confianza inicial de cooperación en los grupos [4,15]. Se sugiere que el castigo y la amenaza de castigo por deterioro del recurso común pueden contribuir a fomentar o mantener la cooperación [28]. Este trabajo ilustra la pertinencia de la utilización de la Dinámica de Sistemas en el estudio de dilemas sociales de gran escala.

5. CONCLUSIONES

Este artículo presentó un mecanismo diseñado para dar cuenta de la cooperación en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. El mecanismo diseñado integra la teoría de cooperación para dilemas sociales de recurso de pequeña escala, la teoría de percepción de amenaza de daño individual (como una forma de castigo) y elementos de complejidad dinámica. Los resultados sugieren que el mecanismo explica el comportamiento cooperativo en dilemas sociales de recurso agotable de gran escala. En todos los casos la complejidad dinámica afecta la cooperación. Los resultados también sugieren que la percepción de daño puede ser usada para promover la cooperación dentro de grupos que carecen de historia de cooperación, así como las personas pueden comenzar a cooperar luego de un periodo de restricción de acceso al recurso común. Finalmente se sugiere que bajo situaciones de gran escala, la cooperación requiere realimentación sobre las consecuencias de la acción colectiva.

6. REFERENCIAS

[1] M. Foddy. Resolving social dilemmas: dynamics, structural, and intergroup aspects. Psychology Press, 1999.

[2] E. Ostrom and J. Walker. Trust and reciprocity: Interdisciplinary lessons from experimental research. Russell Sage Foundation Publications, 2005.

[3] E. Ostrom. Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press, 1990.

[4] E. Ostrom. A behavioral approach to the rational choice theory of collective action. In Polycentric games and institutions: readings from the Workshop in Political Theory and Policy Analysis, page 472. University of Michigan Press, 2000.

[5] A. Biel, C. Von Borgstede, and U. Dahlstrand. Norm perception and cooperation in

large scale social dilemmas. Resolving social dilemmas: Dynamic, structural, and intergroup aspects, pages 245–252, 1999.

[6] L. Markóczy. Trust but verify: Distinguishing distrust from vigilance. Presentado en la Academy of Management Conference en Seattle, 2003.

[7] G. Hardin. The tragedy of the commons. Journal of Natural Resources Policy Research, 1(3):243–253, 2009.

[8] G. Hardin. The tragedy of the commons. The population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality. Science (New York, NY), 162(859):1243, 1968.

[9] J. Von Neumann, O. Morgenstern, H.W. Kuhn, and A. Rubinstein. Theory of games and economic behavior. Princeton university press Princeton, NJ, 1953.

[10] M. D. Davis. Game theory: a nontechnical introduction. Dover Pubns, 1997.

[11] H. A. Simon. Rational decision making in business organizations. The American Economic Review, 69(4):493–513, 1979.

[12] H. A. Simon. A behavioral model of rational choice. The Quarterly Journal of Economics, 69(1):99–118, 1955.

[13] J. D. Sterman. Misperceptions of feedback in dynamic decision making. Organizational behavior and Human Decision Processes, 43(3):301–335, 1989.

[14] E. Diehl and J. D. Sterman. Effects of feedback complexity on dynamic decision making. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 62(2):198–215, 1995.

[15] D. Castillo and A. K. Saysel. Simulation of common pool resource field experiments: a behavioral model of collective action. Ecological Economics, 55(3):420–436, 2005.

[16] R. J. Smith. Resolving the tragedy of the commons by creating private property rights in wildlife. Cato Journal, 1(2):439–468, 1981.

[17] E. Ostrom, R. Gardner, and J. Walker. Rules, games, and common-pool resources. University of Michigan Press, 1994.

[18] M. Olson. The logic of collective action: Public goods and the theory of groups. Harvard University Press, 1971.

[19] R. D. Luce, H. Raifa, and T. Teichmann. Games and decisions. Physics Today, 11:33, 1958.

[20] A. Clark and A. Karmiloff-Smith. The cognizer's innards: A psychological and philosophical perspective on the development of thought

[21] E. Fehr and S. Gächter. Fairness and retaliation: The economics of reciprocity.

- 14 (3):159181, 2000. The Journal of Economic Perspectives,
- [23] A. Biel. Factors promoting cooperation in the laboratory, in common pool resource dilemmas, and in large-scaledilemmas. Cooperation in modern society: Promoting the welfare of communities, states, and organizations, pages 2541, 2000.
- [24] P. Kollock. Social dilemmas: The anatomy of cooperation. Annual Review of Sociology, 24(1):183214, 1998.
- [25] E. Ostrom, J. Burger, C.B. Field, R. B. Norgaard, and D. Policansky. Revisiting the commons: local lessons, global challenges. Science, 284(5412): 278, 1999.
- [26] J. D. Sterman. Modeling the formation of expectations:: The history of energy demand forecasts. International Journal of Forecasting, 4(2):243259, 1988.
- [27] J. D. Sterman and L.B. Sweeney. Cloudy skies: assessing public understanding of global warming. System Dynamics Review, 18(2):207240, 2002.
- [28] T.C. Schelling. The strategy of conflict. Prospectus for a reorientation of game theory. Journal of Conflict Resolution, 2(3):203, 1958.
- [29] E. Moxnes. Not only the tragedy of the commons: misperceptions of feedback and policies for sustainable development. System Dynamics Review, 16(4):325348, 2000.
- [30] E. Moxnes. Not only the tragedy of the commons: misperceptions of bioeconomics. Management Science, 44(9):12341248, 1998.
- [31] J. W. Forrester and J. Wright. Industrial Dynamics. MIT press Cambridge, MA, 1961.
- [32] J. D. Sterman. Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world with CD-ROM. Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- [33] J. Morecroft. Strategic modelling and business dynamics: a feedback systems approach. Wiley. 2007.
- [34] E. S. Maskin. Mechanism design: How to implement social goals. American Economic Review, 98(3):567576, 2008.
- [35] C.A. Goldman, G.L. Barbose, and J.H. Eto. California customer load reductions during the electricity crisis: ¿Did they help to keep the lights on? Journal of Industry, Competition and Trade, 2(1): 113142, 2002.
- [36] E. Ostrom. Collective action and the evolution of social norms. The Journal of Economic Perspectives, 14(3):137-158, 2000.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias, a la Universidad Autónoma de Bucaramanga, a la Universidad Nacional de Colombia y a la Universidad de Bergen, por el apoyo recibido durante el desarrollo de este trabajo.

Modelo macroeconómico, institucional y sustentable, basado en Dinámica de Sistemas para la economía colombiana – borrador

A system dynamic sustainable institutional macroeconomic model for the Colombian economy – draft

Jairo Parada, Ph.D

Grupo de Análisis Económico – GRANECO, Grupo de investigación en Derecho y Ciencia Política - GIDECF-, Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales –IDEHA
Universidad del Norte-Barranquilla
jparadac@uninorte.edu.co

Resumen: El principal objetivo de este trabajo es construir un Modelo Macroeconómico de la economía colombiana que combine los aspectos económicos y las variables ambientales, sociales y políticas que afectan el comportamiento de la economía colombiana. Este modelo permitirá simular diferentes escenarios de acuerdo al análisis prospectivo de la situación actual y evaluar diferentes alternativas en la perspectiva de Colombia 2019.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, modelo macroeconómico, desarrollo sostenible.

Abstract: The main target of this Project is to build a Macroeconomic Model of the Colombian Economy which combines the economic aspects of the country and the environmental, social and political variables that affect the behavior of the Colombian Economy. This model will allow to simulate different scenarios according with the prospective analysis of the current situation and to evaluate different alternatives in the perspective of Colombia 2019.

Key words: macroeconomic model, system dynamics, sustainable development.

1. INTRODUCCIÓN

Las políticas consignadas en el documento *Visión Colombia II Centenario: 2019* del Departamento Nacional de Planeación (DNP) [1] están basadas en un análisis de un conjunto de proyecciones que van

desde el año 2006 al año 2019 y fueron diseñadas para alcanzar múltiples metas, que incluyen crecimiento económico, social y desarrollo humano, incrementos de la eficiencia gubernamental y el afianzar el fortalecimiento institucional. Las metas adicionales que provienen directamente del plan incluyen incrementar la protección ambiental, la independencia energética y la libertad del conflicto.

Desafortunadamente, el logro de un conjunto comprensivo de metas nacionales como estas requiere más que proyecciones sobre su tendencia, haciendo uso de herramientas econométricas. Por su parte, desde el aspecto teórico es inaceptable postular proyecciones a 20 años, por esto es válido el uso de escenarios para evaluar las políticas y esto sólo es posible mediante Dinámica de Sistemas. Las metas de desarrollo socioeconómico son interdependientes y frecuentemente están en conflicto. Como tal, los planes socioeconómicos de desarrollo requieren la adopción de una perspectiva de sistemas. Primero, porque las herramientas econométricas no permiten ser flexibles ante los cambios de variables, y requiere contar con la base de datos de todos los años de estudio, lo cual no es posible en muchos casos. La aplicación de la teoría de los sistemas para un plan de desarrollo socioeconómico que sea comprensivo, puede arrojar percepciones clave dentro de las interacciones dinámicas entre agentes importantes y las instituciones en el sistema que directamente influyen los resultados nacionales y lleva a las prescripciones de política que aseguren el progreso que se haga en todos los frentes. Además, Dinámica

de Sistemas permite evaluar teorías heterodoxas desde sus elementos cualitativos, lo cual permite una coherencia metodológica con sus postulados fundamentales.

En el presente artículo presentamos los avances en la construcción de este modelo.

2. ESQUEMA GENERAL DEL MODELO

Cada componente del modelo o subsistema está integrado como muestra la figura 1. La interrelación entre dichos subsistemas, permitirá evaluar las políticas de gobierno y desarrollar escenarios que permitan guiar diferentes alternativas de desarrollo hacia el año 2019.

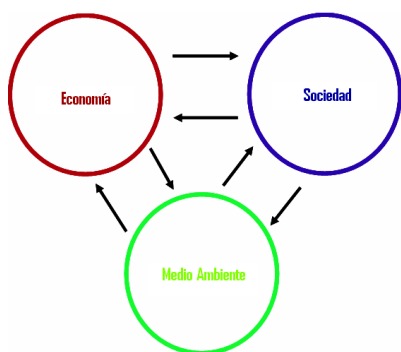


Figura 1. Resumen del modelo de Dinámica de Sistemas de sectores propuesto.

El sector económico contiene subsectores que interactúan con el sector ambiental, como los usos energéticos, el agotamiento de recursos naturales y el uso de la tierra. Además, el sector económico se encuentra vinculado con la sociedad y política, en los niveles de pobreza y calidad de vida, que generan círculos viciosos de conflicto, y afectan la elección democrática, así como las relaciones de política externa. A su vez, el sector sociedad contiene subsectores que capturan las dinámicas demográficas de la economía, además de los costos económicos causados por el conflicto armado y el narcotráfico, y los costos ecológicos de los cultivos ilícitos. Por su lado, el sector del medio ambiente genera efectos externos, como los costos en salud y producción por la contaminación, así como el impacto en los precios o en calidad de vida dado el uso y agotamiento de recursos no renovables.

Para el desarrollo del modelo, se tomarán series de tiempo desde el año 1980 hasta el año 2010, para cada variable en los diferentes subsistemas.

A continuación se presenta cada componente del sistema socioeconómico y ambiental.

2.1. COMPONENTE MACROECONÓMICO

Siguiendo la metodología de sistemas contables, propuesto por Yamaguchi [2], nuestro sistema está conformado por seis sectores de actividad económica según la metodología del Sistema de Cuentas Nacionales SCN93: hogares, empresas (Sociedades no financieras), Sector Bancario (sociedades financieras), gobierno, Banco Central y sector externo. Estos sectores se integran en un sistema complejo de transacciones monetarias dentro del cual la oferta monetaria es determinada endógenamente por el sistema a través del crédito bancario y originada en las operaciones de crédito público del Gobierno Nacional central. La interdependencia entre las operaciones de financiamiento público y las acciones del Banco Central conforman el bucle principal del circuito monetario dentro de nuestro sistema monetario de producción.

El comportamiento de un sistema depende de su estructura. Así, el comportamiento de un sistema macroeconómico integrado por estos sectores dependerá de la forma en que sean definidas las relaciones entre ellos. Tales relaciones se resumen en formas funcionales apoyadas en los supuestos teóricos del modelo.

No obstante, Yamaguchi [2] presenta un modelo macroeconómico completo en Dinámica de Sistemas, la teoría económica en la que se basa es la neoclásica, la cual desde la visión heterodoxa es una representación abstracta y poco realista del mundo económico. Por ejemplo, estas teorías se basan en el actor racional, en axiomas como la neutralidad del dinero y el axioma ergódico (en el cual el futuro es conocido y puede ser calculado estadísticamente con base en el pasado).

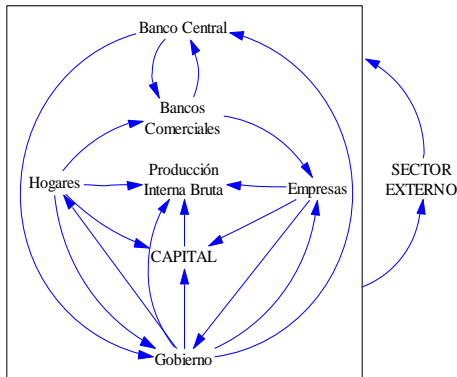


Figura 2.

Esquema general del modelo macroeconómico.
Yamaguchi [2]

Nuestro modelo, por su parte, está basado en supuestos post keynesianos donde el tiempo, la moneda y la incertidumbre son los elementos que gobiernan el estado presente de las cosas y la dirección de los cambios potenciales [3].

El dinero es crucial, porque no cuenta con un sustituto y no es neutral, es necesario en momentos de alta incertidumbre y como denominador de contratos. Los sistemas serían ergódicos si se mantuvieran estables a lo largo del tiempo. Sistemas unergódicos implican incertidumbre en el mundo real, así que sistemas de ecuaciones formales no pueden capturar la complejidad de la realidad [4].

Tanto para los postkeynesianos, como para Keynes, la demanda es el motor de toda economía, ya que determina los niveles de empleo, inflación, la distribución del ingreso, los déficits fiscales y los déficits en el mercado nacional. La demanda agregada es afectada, a su vez, por la distribución del ingreso, la incertidumbre, los hábitos psicológicos de los consumidores, los espíritus animales de los empresarios y las políticas de gobierno [4].

Para los postkeynesianos el futuro es incierto e impredecible. Las expectativas de rendimientos afectan las inversiones, pero las expectativas futuras dependen de hábitos y convenciones que pueden modificarse fácilmente, y cuando esto ocurre y las expectativas de ganancia son pobres la economía experimenta baja inversión, poco gasto y un severo desempleo [4].

De acuerdo a los postkeynesianos, el desempleo es resultado de una insuficiente demanda agregada, contrario a la teoría neoclásica que arremete contra las altas tasas salariales en el mercado laboral, por lo

que dicha teoría no incluye el desempleo involuntario [4].

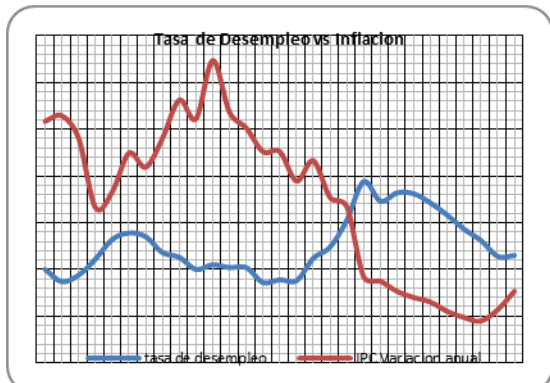
Por su parte, el crecimiento es determinado por el lado de la demanda y depende de las condiciones económicas pasadas, por lo que cobra fuerza la dependencia en el sendero en el análisis de crecimiento. Entonces para economías que experimentan altas tasas de desempleo y un mal sendero, como ocurre en Colombia, difícilmente podrán salir de éste a no ser con políticas económicas a largo plazo [4].

Randall Wray explica por qué los postkeynesianos señalan la oferta de dinero como endógena. Es la demanda de liquidez de las empresas para expandir sus operaciones que genera préstamos bancarios y una mayor oferta monetaria. Además, mientras los neoclásicos ven la inflación como un fenómeno monetario, los postkeynesianos lo ven como un conflicto entre la distribución de la producción real. La solución entonces sería no aumentar el desempleo, pero una política de ingreso que permita una aceptable distribución de la producción real, además de una política que mantenga reservas de los productos de primera necesidad como petróleo y trabajo. Cuando la economía se halla en recesión y el desempleo se convierte en un problema, el gobierno necesita comprar trabajo y desarrollar una reserva de trabajadores, lo cual ayudaría a la demanda y al empleo. A la inversa, cuando hay expectativas inflacionarias y la demanda es alta, el gobierno podría vender sus reservas [4].

Las personas no son siempre racionales, y porque estos operan en un mundo de incertidumbre, el Estado tiene que intervenir porque puede alterar los hábitos y convenciones. Sin la intervención del Estado, las instituciones mentales pueden llevar a una economía a la recesión. Una política presupuestal apropiada es necesaria para el buen funcionamiento de la economía [4].

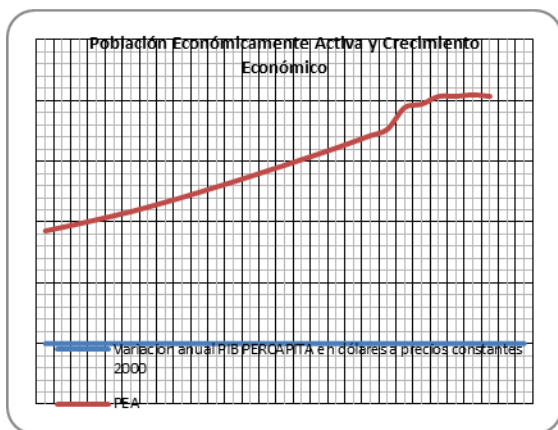
Dentro del análisis del sector real de la economía colombiana, vemos que las políticas neoclásicas de reducir la inflación a su vez están ligadas al crecimiento de la tasa de desempleo, como se muestra en la gráfica 1. Pasados cinco años de la independencia del Banco de la República, la tasa de desempleo pasa de 10.20% en 1991 a 11.20% en 1996, llegando incluso a tasas de 19.40% en 1999, dado que a la recesión del 1998 se le suma la aplicación de políticas de austeridad monetaria que le restaron liquidez a la economía. Lo cual nos lleva a plantear posturas postkeynesianas dentro del análisis económico colombiano, y evaluar qué tan necesaria

es la Regla Fiscal, dado los niveles de reserva de 26.000 millones.



Grafica 1. Tasa de desempleo y variación anual del IPC. Fuente: DANE. Tomado de Estadísticas Históricas de Colombia DNP

La población colombiana pasa de 27 millones de habitantes en 1980 a 45 millones de habitantes en el 2008. Sin embargo, la tasa de crecimiento de la población descende de 2,3% en 1980 a ser de sólo 1,3% en 2008, dada los efectos de la transición demográfica ocurridos en 1950. Estos aumentos en población se ven reflejados en los crecimientos lineales de la población económicamente activa, la cual junto con la acumulación de capital, explican los crecimientos del PIB per cápita [5], a pesar de las fluctuaciones por las crisis presentadas en 1982, 1998 y 1999.



Grafica 2. PEA y Crecimiento Económico. Fuente: GRECO 1980-2000 y DANE 2001-2006 para cifras de PEA, y CEPAL para variación anual del PIB per cápita.

Aunque se han realizado diagramas causales basados en el sistema de cuentas nacionales de los diferentes subcomponentes macroeconómicos, aún se encuentran en proceso de elaboración las ecuaciones a introducir en el modelo, y sólo se han realizado

simulaciones de subcomponentes aislados como el de población.

2.2 COMPONENTE AMBIENTAL

El objetivo del componente ambiental de nuestro modelo es introducir en el campo de la modelación económica alternativas metodológicas que permitan incorporar a los modelos tradicionales el efecto que sobre el medio ambiente impone la expansión de la actividad económica más allá de la capacidad de carga y asimilación del ambiente que la soporta.

El modelo, aún en evaluación, consta de cuatro (4) variables principales: Área para la actividad económica, Productividad del suelo, Polución y Recursos Naturales, con base en Jay Forrester [6].

Dicho subcomponente afectará a la población en los efectos del cambio climático, en las muertes por desastre ambiental. A su vez, se relacionará con el modelo del conflicto armado (del subcomponente Político-Social), mediante el área de tierra disputada entre la agricultura y el cultivo de estupefacientes.

Se busca a través de escenarios examinar qué sucedería si se hace una política enfocada en lo ambiental, para ver qué tanto se frenaría el crecimiento económico; o en el caso contrario, si se busca crecer a tasas mayores del 5% para bajar las tasas de desempleo, como se propone en el documento Visión 2019, cuál serían las repercusiones en el deterioro ambiental.

2.3. COMPONENTE POLÍTICO SOCIAL

Caracterizar la dimensión política y social que ha afrontado el Estado colombiano en las últimas tres décadas implica hacer un ejercicio retrospectivo, analítico y sintético en torno a tres subcomponentes importantes para esta investigación, a saber:

- El subcomponente de violencia, conflicto político armado y narcotráfico
- El subcomponente de democracia, participación y actores políticos y
- El subcomponente de luchas, movimientos y conflictos sociales.

Metodológicamente, nos hemos centrado en los tres subcomponentes relacionados, ya que reúnen las unidades de análisis más representativas y dinámicas del sistema político colombiano, las cuales inciden en las principales variables económicas; no obstante, es importante subrayar que a la fecha hemos trabajado principalmente en las relaciones causales del subcomponente de violencia y conflicto político,

dado que es uno de los que reviste mayor complejidad por las variables que involucra.

Enfoques de estudio y concepto de conflicto

Existen diversas escuelas o enfoques para abordar el estudio de los conflictos, uno de ellos es el enfoque teórico funcional estructuralista, perspectiva desde la cual sobresalen los desarrollos analíticos de Lewis Cosser (1970). La escuela estructuralista aboga por una aproximación objetiva del conflicto argumentando que éste no puede ser interpretado únicamente a partir del individuo, por el contrario, según esta escuela, el conflicto se deriva de la incompatibilidad de intereses y objetivos engendrados en el seno de la estructura social.

De acuerdo con Cosser, todo sistema social implica una distribución de poder, así como de riqueza y posiciones de estatus, entre los actores individuales y los subgrupos componentes. Como se ha señalado, nunca hay una completa concordancia entre lo que los individuos y los grupos dentro de un sistema consideran su justo derecho y el sistema de distribución. El conflicto sobreviene cuando diversos grupos e individuos frustrados se esfuerzan por aumentar su parte de gratificación. Sus demandas encontrarán resistencia en aquellos que establecieron previamente un "interés creado" en una forma dada de distribución de honor, riquezas y poder [7]. Esta definición remite a entender el conflicto como una contienda por aumentar recursos y por cambiar el sistema de distribución existente desatando diferentes escenarios de violencia; en el caso colombiano desde la violencia mafiosa hasta la insurreccional, quedando la población civil inerme en medio del conflicto.

Ahora bien, el conflicto armado colombiano ha sido abordado en la literatura especializada nacional, desde dos enfoques. Uno es el enfoque de las 'causas objetivas' propia de las teorías estructuralistas que surgen en las décadas del sesenta y setenta cuyos exponentes son sociólogos, politólogos e historiadores de la escuela francesa y alemana. Este enfoque explica las causas y motivaciones para la permanencia de actores ilegales y por ende del conflicto a partir de factores socio-económicos como la desigualdad, la inequidad económica y exclusión política, los cuales actúan como posibles detonantes de la violencia política [8].

El segundo enfoque es el de la 'depredación de recursos' desarrollado en la década de los noventa

por economistas de tradición anglosajona basados en la teoría de actor racional. Este enfoque sostiene que la presencia de grupos ilegales obedece a fundamentos individuales racionalistas teniendo en cuenta los objetivos estratégicos y beneficios económicos que se puedan derivar del conflicto [8]. Aunado a lo anterior, se debe tener presente que el ineficaz y deficiente desempeño del aparato legal y de justicia ha repercutido en la reproducción del crimen y en la existencia de grupos irregulares [9].

Es preciso enfatizar que en esta investigación estamos abordando el conflicto armado desde la perspectiva estructuralista, en tanto la persistencia del conflicto y de los actores irregulares obedece a que el conflicto es uno de los principales generadores de inequidad social, evidenciado específicamente en la alta concentración de la propiedad de la tierra que, según Ana María Ibáñez (2008), dicho coeficiente para el 2000 oscilaba en 86.2. Por otra parte, según CODHES el número de desplazados en el mismo año fue de 317.925.

El problema de la tierra en Colombia es uno de los problemas que se ha agudizado con el fenómeno del narcotráfico, de acuerdo con Francisco Thoumi (1989) los empresarios ilegales han invertido sumas sustanciales en compra de tierras, de manera que para 1995 había evidencia de compras en 42% de los 1.039 municipios que existían en el país durante este año [10]. Alejandro Reyes (1989) señala que la compra de tierras por narcotraficantes ha contribuido, en primer término, a elevar los niveles de concentración en pocas manos, con el consiguiente aumento del desplazamiento de campesinos a ciudades. En segundo término, ha sobrevalorado las tierras. En tercer lugar, ha financiado estrategias de contrainsurgencia, aumentando los niveles de violencia. En cuarto término, ha deteriorado la tierra en perjuicio de la agricultura y los bosques [11].

La rápida expansión del crimen violento se reflejó en el aumento de la tasa de homicidios del país. Para 1980 la tasa de homicidios osciló en 34 por cada cien mil habitantes, mientras que en 1991 la tasa de homicidios alcanzó un máximo de 79 por cada cien mil habitantes, siendo la tasa más alta del siglo XX, y en relación con países de América Latina una de las más agudas, pues para el mismo año la tasa de homicidios de México y Brasil oscilaba en 19 por cada cien mil habitantes [12].

Gráfico 2. Tasa de homicidios por cada cien mil habitantes de Colombia. 1970-2009



Fuente: Observatorio del Programa Presidencial de Derechos Humanos y D.I.H. (2009) *Caracterización del homicidio en Colombia, 1995-2006*, Bogotá, pp. 11.

En el año 2003 se empieza a observar un descenso progresivo en la tasa de homicidios. Para este año ya estaba en curso la política de seguridad democrática bajo el mandato del presidente Álvaro Uribe Vélez. De la primera década del siglo XXI, el 2008 es reconocido como uno de los años con la tasa de homicidios más baja (35 homicidios por cada cien mil habitantes), para este año ya habían culminado las desmovilizaciones de los grupos de Autodefensas.

Como vemos, el componente político en las últimas tres décadas se ha caracterizado por su dinamismo constante, siendo el conflicto armado un factor altamente dinamizador del sistema político colombiano. Actualmente se está trabajando en diagrama de niveles y flujos y en la construcción de ecuaciones y la incidencia de este subcomponente frente a las variables económicas.

3. REFERENCIAS

[1] Departamento Nacional de Planeación. *Visión Colombia II Centenario 2019*. Bogota: DNP, 2006.

[2] YAMAGUCHI, Kaoru. *Integration of Real and Monetary Sectors with Labor Market –SD Macroeconomic Modeling (3)-*. Doshisha University, Kyoto, 2006

[3] RADZICKI, M. 2007. "Institutional Economics, Post Keynesian Economics, and System Dynamics: Three Strands of a Heterodox Economics Braid." *Future Directions for Heterodox Economics*. John T.

Harvey and Robert F. Garnett, Jr., eds. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press. Forthcoming.

[4] Holt et al. *A new guide to postkeynesian economics*. First Edition. Routledge. Londres, 2001. Chapter 1

[5] GRECO. *El Crecimiento Económico Colombiano en el Siglo XX*. Banco de la República. Fondo de Cultura Económica. Bogotá, 2002.

[6] FORRESTER, J. W. *World Dynamics*. Waltham, MA: Pegasus Co. 1971.

[7] COSSER, Lewis. *Nuevos aportes a la teoría del conflicto social*, Amorrortu editores, Buenos Aires, 1970, pg.35.

[8] MASULLO JIMÉNEZ, Juan y SÁNCHEZ, Lucas. *El conflicto colombiano como depredación de recursos: una visión sin futuro*, Congreso Ciencia Política 2008, Universidad de los Andes, Bogotá, pg. 03.

[9] SÁNCHEZ, Fabio. *Las cuentas de la violencia*, Universidad de los Andes, Editorial Norma, 2007, Bogotá.

[10] THOUMI, Francisco. "Trayectoria del narcotráfico en Colombia". En: Tirado Mejía Álvaro (dir.), *Nueva historia de Colombia*, Tomo VIII Economía y Regiones, editorial Planeta, Bogotá, 1989, Pp 18.

[11] REYES POSADA, Alejandro. (1989), "Propiedad de la tierra y narcotráfico en Colombia". En: Tirado Mejía Álvaro (dir.), *Nueva historia de Colombia*, Tomo VIII Economía y Regiones, editorial Planeta, Bogotá, pp 32.

[12] KLIKSBERG, Bernardo (2007), *Mitos y realidades sobre la criminalidad en América Latina*, Algunas anotaciones estratégicas sobre cómo enfrentarla y mejorar la cohesión social, FIIAPP, consultado en Internet URL <http://www.nuso.org/upload/seguridad/Kliksberg.pdf>, 24 de septiembre 2010.

SALUD

Enfoque sistémico de la dinámica del VIH aplicado al caso colombiano

A systems dynamic approach to modeling the HIV applied to the case of Colombia

Cindy Power, Est., Juan Esteban de la Calle, Est., Luis Antonio Quintero, PhD

Universidad EAFIT

cpowergo@eafit.edu.co, jdelac@eafit.edu.co, lquinte3@eafit.edu.co

Resumen: el Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH) es llamado también la pandemia del siglo 20, las consecuencias de la existencia de este virus han sido nefastas en términos económicos y humanos en todo el mundo. El enfoque presentado a continuación permitirá reconocer la dinámica del desarrollo interno de la enfermedad y cómo la aplicación correcta del tratamiento podría ayudar a la disminución del impacto psicológico y económico de la enfermedad.

Palabras clave: virus de inmunodeficiencia humana, tratamiento del VIH, modelación de la dinámica viral, sistema inmune, resistencia a tratamiento.

Abstract: The Human Immunodeficiency virus (HIV) has been called the pandemic of 20th century. Its consequences have been devastating in economics and human terms around the world. The approach presented below recognizes the dynamics of internal development of this disease and how the correct application of treatment, could decrease the psychological and economic impact.

Key words: human immunodeficiency virus, HIV treatment, dynamic modeling of viral disease, immune system, resistance to treatment.

1. INTRODUCCIÓN

La dinámica de la infección del virus varía de acuerdo a las condiciones del paciente, sus condiciones de vida, acceso a medicamentos antirretrovirales, condiciones de vulnerabilidad, historial clínico, entre otros.

Quizá uno de los mayores obstáculos en la prevención, tratamiento e incluso en la cura de la enfermedad, es la falta de visualización del sistema como un ente dinámico. La adopción de este enfoque

permitiría comprender relaciones causa-efecto de manera más clara, y permitiría efectuar una toma de decisiones más acorde a la realidad del paciente. En el caso colombiano, permitiría adaptar los tratamientos a las condiciones antes mencionadas (condiciones de vida, condiciones de salud del paciente).

Mediante software de construcción de modelos como PowerSim, es posible simular el comportamiento de la relación de la población del virus en el sistema inmunológico del paciente, una vez infectado. Este modelo puede luego ser fácilmente modificado para incluir diferentes tipos de escenarios, que representarían las condiciones del entorno en las que vive el paciente. Se evalúa, por ejemplo, la inclusión de un tratamiento en el que se obtengan resultados positivos frente a un virus resistente para otros medicamentos.

Además, se adapta el tipo de tratamiento a las condiciones de acceso a medicamentos de pacientes colombianos, mediante intervalos de aplicación/no aplicación de éste, entre otros aspectos que son posibles de analizar en el presente modelo.

2. ANTECEDENTES

Desde su descubrimiento en 1981 el VIH ha matado aproximadamente a 25 millones de personas y cerca del 0.6% de la población mundial está infectada con éste. Las formas de transmisión más comunes son sexual, contacto sanguíneo y transmisión vertical. Una vez ha entrado al cuerpo, el sistema inmune responde aumentando la producción de células T, una alta concentración de éstas indica la presencia de cuerpos extraños en el organismo. Para que los virus se reproduzcan, deben infectar una célula y usarla para producirlos. Así como el cuerpo produce constantemente células nuevas de piel o de sangre, habitualmente cada célula produce nuevas proteínas

para mantenerse viva y reproducirse. Los virus esconden su propio ADN en el ADN de la célula y entonces, cuando la célula intenta producir proteínas nuevas, también crea nuevos virus en forma accidental. El VIH infecta mayormente a las células del sistema inmunitario.

Según Velichenko et. al. (2005), el tratamiento constante a base de medicamentos y quimioterapia le proporciona al paciente un aumento precario del tiempo de vida y una disminución también precaria de la cantidad de virus final, comparados con los que nunca reciben tratamiento. Además, se comprueba que mediante la aplicación de tratamientos extremos la cantidad de días extra de vida que gana el paciente, aumenta significativamente, casi el triple de lo que viviría normalmente. Estos resultados fueron obtenidos mediante iteraciones computacionales para obtener la solución del problema, mas no mediante experimentación.

En la literatura de las aplicaciones de control, los métodos para mejorar el desempeño del sistema inmune basados en modelos han sido reportados (Hyungbo et al, 2003), esto quiere decir que la cantidad e intensidad del tratamiento se convierten en una variable de decisión de un problema de control óptimo.

El hipotético aumento de la calidad de vida de los pacientes puede llevar a aumentar el beneficio económico de las personas infectadas, ya que pueden hacerse partícipes de actividades productivas. En naciones como Malawi, donde la tasa de infección por VIH/SIDA es superior al 14%, el impacto económico de la administración sistemática de medicamentos se hace más evidente para la economía. Malawi enfrenta una crisis significativa producto del impacto de varios niveles de esta enfermedad. El entorno actual en Malawi es el laboratorio perfecto para estudiar la relación entre el impacto de los antirretrovirales y el beneficio económico, social y psicológico en los pacientes y la sociedad (Headley, 2008).

En la sociedad colombiana habría un impacto igual, y si, a la vez, se aumenta la efectividad del tratamiento, se alarga la vida del paciente y se acompaña con políticas de educación sexual constantes, habría un panorama muy diferente al actual en lo que respecta a la enfermedad.

Diversos autores han estudiado desde el punto de vista de dinámica de sistema el fenómeno de la infección por el virus del VIH (Atzori et al, 2009; Bortz, Nelson, 2006), otros han estudiado el proceso infeccioso del VIH como un proceso de control óptimo (Bellman et al, 1987; Marchuk, 1980; Biafore et al, 2007)

3. FORMULACION DEL PROBLEMA

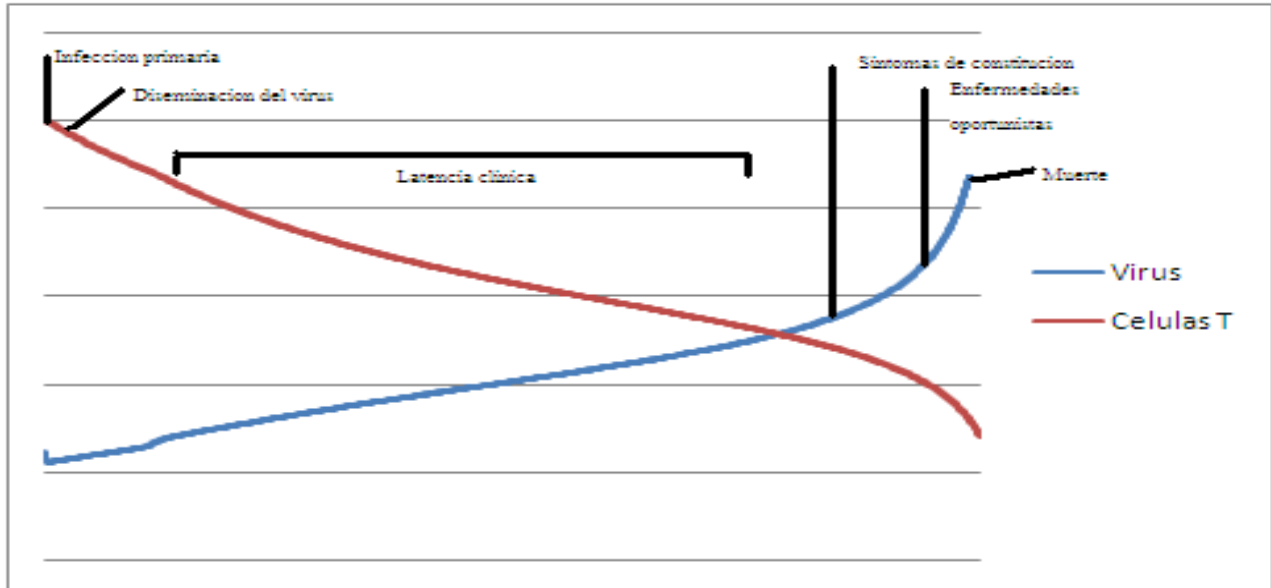
Dentro del campo de la epidemiología clínica, el estudio de la infección del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) reviste gran importancia, ya que, por sus condiciones de contagio, mortalidad y carácter permanente (no se ha desarrollado una cura), genera una gran preocupación en el ámbito internacional. Por esto, cualquier esfuerzo para lograr una mejor comprensión de la enfermedad resulta ser muy útil.

Las formas de transmisión más comunes son sexual, contacto sanguíneo y transmisión vertical.

Tipo de exposición	Riesgo estimado de contagio
Transfusión una unidad sangre	90-100%
Percutáneo (sangre)	0.3%
Mucocutáneo (sangre)	0.09%
Coito anal receptivo	1-2%
Coito anal activo	0.06%
Coito vaginal (mujer)	0.1-0.2%
Coito vaginal (hombre)	0.03-0.14%
Sexo oral a hombre	0.06%
Mujer-mujer urogenital	Sólo 4 casos registrados
Compartir material de inyección	0.67%
Vertical (sin profilaxis)	24%

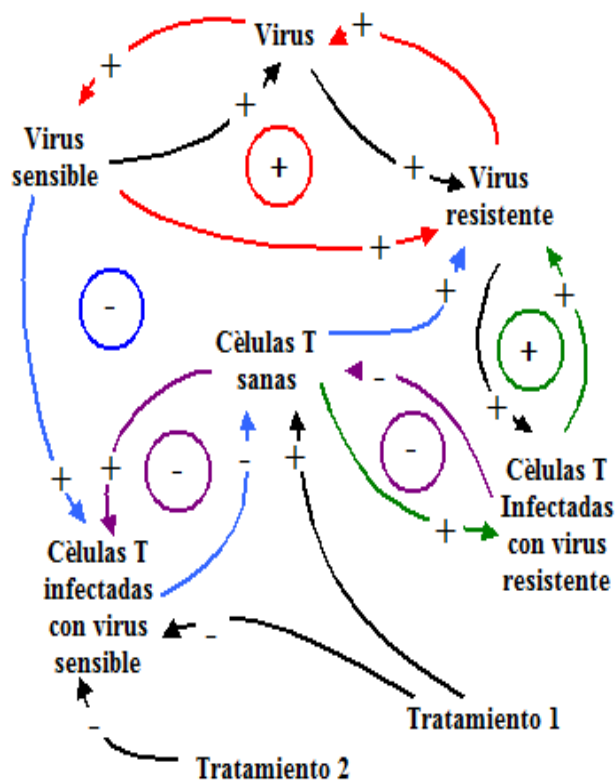
Modificado de Fisher. International Journal of STD & AIDS 2006 (UK guidelines)

Tabla 1. Riesgo según exposición



Gráfica 1 Dinámica del VIH

El siguiente es el diagrama causal que representa las relaciones causa-efecto del avance de la enfermedad dentro del paciente.



Gráfica 2. Diagrama causal de la enfermedad

En este diagrama se encuentran dos ciclos positivos y tres ciclos negativos. En el ciclo rojo, se explica que al aumentar el virus se aumenta la cantidad de virus sensibles y resistentes. Además, revela que los virus sensibles se reproducen y forman virus tanto resistentes como sensibles. Por lo tanto, se crea un ciclo positivo que muestra esta relación entre las poblaciones de virus.

Se puede inferir también que el aumento en la concentración de virus sensibles explica la población de células T infectadas con dicho virus. Pero la aplicación de los tratamientos 1 y 2 reduce esta tasa de infección de células T infectadas, pero se evidencia que solo sucede con el virus sensible.

También es posible percibir en el diagrama que las células T infectadas provienen de la población de células T sanas, es una relación directamente proporcional. Por otro lado, también se sabe que a menor cantidad de células T sanas en el cuerpo se presentan más células T infectadas por el virus sensible, debido a la disminución de la capacidad defensiva del organismo, produciendo así un ciclo negativo, que explica la disminución de la población de las células, igual sucede con la población de células infectadas con virus resistente al tratamiento,

excepto que esta población no se ve menguada por la acción del tratamiento.

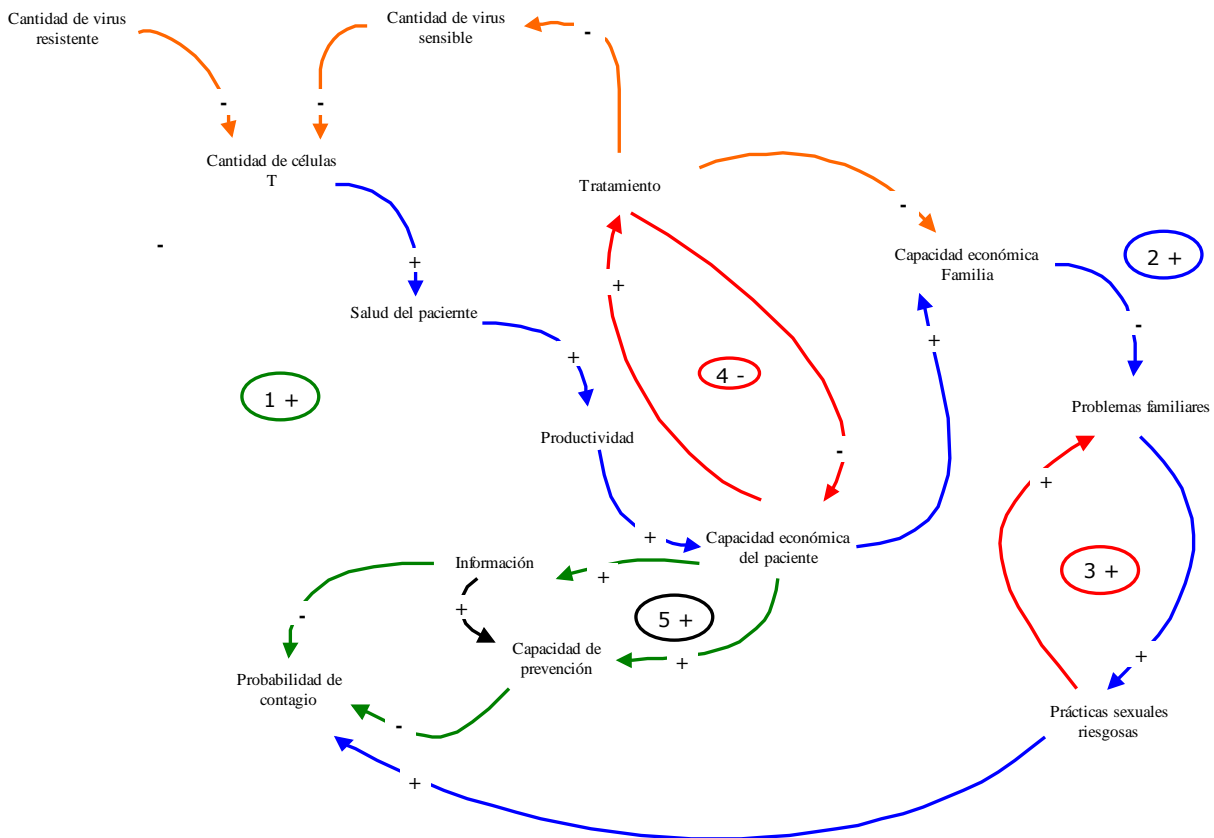
Por último, se observa la acción de los tratamientos, al recibir más cantidad o intensidad del tratamiento 1, la cantidad de células T sanas en el cuerpo aumenta y la cantidad de células T infectadas con virus sensible disminuye, el tratamiento 2 influye solo en la cantidad de células T infectadas.

La evaluación de los escenarios se haría con base en este aspecto, la modificación de los parámetros de efectividad de los tratamientos podría conllevar a escenarios de disminución parcial o total de la cantidad de células T infectadas. La condición de un paciente infectado con el virus depende del conteo de células T y de la carga viral, en fases tempranas de la enfermedad, el conteo de CD4 es alto y la carga viral es baja, con el paso del tiempo, el conteo de células disminuirá, este es el factor que determina la capacidad de un individuo de ser un agente

económicamente activo de la sociedad, cuando la enfermedad avanza sus capacidades laborales se ven menguadas.

Se debe tener en cuenta que la seropositividad de un paciente no necesariamente implica convalecencia, ni disfuncionalidad en ningún sentido, sin embargo, en la realidad una persona en caso de ser diagnosticada con VIH, se ve sometida a rechazo desde etapas demasiado tempranas de su enfermedad, cuando aun tiene la posibilidad de ser un agente económicamente activo de la sociedad.

Se debe, además, tener en cuenta que si el paciente no se somete a tratamiento, el tiempo que pasa antes de sufrir SIDA y eventualmente morir se hace más corto, por lo cual el tratamiento es la mejor opción en lo que concierne a lograr la inclusión social, ya que el síndrome es factor de exclusión bastante evidente.



Grafica 3. Diagrama causal de cómo afecta la enfermedad la vida del paciente.

Una mejora en el tratamiento podría traer consecuencias positivas tanto para la sociedad como para el individuo, el individuo alarga su tiempo de vida hasta tres veces comparado con lo que hubiera logrado vivir sin el tratamiento mejorado o sin tratamiento alguno, la sociedad a su vez contaría entonces con un miembro activo económicamente por más tiempo, mientras la cantidad de células T sanas se mantenga en un nivel aceptable.

Se hace también necesario extender el uso del examen para la detección de la seropositividad, ello repercutiría positivamente en el ámbito de la prevención, ya que, como es sabido, la mayoría de los nuevos casos se producen provenientes de pacientes que desconocen su estado. Estos nuevos pacientes a su vez propagarían la enfermedad sin saberlo.

El otro ámbito en el que el uso del examen influiría es en el desarrollo del tratamiento, mientras más temprano se detecte la enfermedad, más pronto comenzaría el tratamiento, lo cual permite que el paciente alargue su periodo de vida.

En la grafica 3 se presenta un diagrama causal que muestra cómo afecta el virus la vida familiar, laboral y productiva del paciente. También, muestra unas posibles soluciones que pueden ayudar a disminuir la probabilidad de infección de las personas.

4. ESTADÍSTICAS DE COLOMBIA

Estimado de la tasa de prevalencia del VIH entre los adultos (15-49 años), 2007	0.6
Número estimado de personas (de todas las edades) que viven con VIH, para 2007, en miles.	170
Número estimado de personas (de todas las edades) que viven con VIH, para 2007, en miles. Nivel bajo estimado	110
Número estimado de personas (de todas las edades) que viven con VIH, para 2007, en miles. Nivel alto estimado	230
Transmisión de la madre al hijo, número estimado de mujeres (de más de 15 años) que viven con VIH, 2007 (en miles)	47
Prevención entre los jóvenes, tasa de niños (0-17 años) prevalencia del VIH entre los jóvenes (15 a 24 años), 2007. Hombres	0.7

Prevención entre los jóvenes, tasa de niños (0-17 años) prevalencia del VIH entre los jóvenes (15 a 24 años), 2007. Mujeres	0.3
Prevención entre los jóvenes, % que utilizó un preservativo durante las últimas relaciones sexuales con riesgo, 2003-2008, hombres.	36
Prevención entre los jóvenes, % que utilizó un preservativo durante las últimas relaciones sexuales con riesgo, 2003-2008, mujer.	36
Huérfanos, niños (0-17 años) debido al SIDA, 2007, estimado (miles)	-

5. CONCLUSIONES

En general, se puede observar en la grafica 1 que el VIH es una enfermedad mortal. Una vez se encuentre la persona infectada con este virus su vida cambiará en varios aspectos. Primero que todo, su salud irá decayendo más y más al pasar las semanas, esto afectará la vida social y laboral de la persona.

También se puede concluir que es una enfermedad que no responde positivamente en todos los casos a los tratamientos y que la única manera de enfrentarse a este virus es informando y educando a las personas sobre él, para evitar el contagio.

También podemos ver que en Colombia se necesita un orden respecto la tabulación de los datos, dado a que de muchos no se encuentra información. Asimismo, necesitamos más libertad para la toma de la prueba y así poder tener más control sobre esta enfermedad.

Otra acción importante es que se debe educar más a las personas para que obtengan el conocimiento apropiado para protegerse de dicho virus.

Finalmente, se concluye que el VIH es una enfermedad que le puede dar a cualquier tipo de persona de cualquier edad y que no se ha encontrado una cura para éste. Se deben tener muchas precauciones en la vida cotidiana para evitar su contagio, ya sea por transfusiones de sangre, relaciones sexuales sin protección u otros.

5. REFERENCIAS

- VELICHENKO, V. V. and PRITYKIN, D. A. Numerical Methods of Optimal Control of the HIV-Infection Dynamics. 2005. 6, Moscú: Pleiades Publishing, Inc, 2005, Vol. 45.
- BELLMAN, R. Mathematical Methods in Medicine (Mir, Moscow, 1987).
- MARCHUK, G. I. Methods of Numerical Mathematics, 2nd ed. (Nauka, Moscow, 1980; Springer, New York, 1975).
- HEADLEY, J.; ROCKWEILER, Holly, Aqeela Jooee, Women with AIDS in Malawi: The impact of antiretroviral therapy on economic welfare, Washington University of Saint Louis. Published in proceedings of Systems Dynamics Conference of 2008.
- SHIM, Hyungbo; HAN, Seung-Ju; CHUNG, Choo Sang; NAM, Won, and SEO, Jin Heon. Optimal Scheduling of Drug Treatment for HIV Infection: Continuous Dose Control and Receding Horizon Control, International Journal of Control, Automation, and Systems Vol. 1, No. 3, september 2003.
- FISHER, Martin; BENN, Paul; EVANS, Barry; POZNIAK, Anton; JONES, Mike; MACLEAN, Suzie; DAVIDSON, Oliver; SUMMERSIDE, Jack; HAWKINS, David and Clinical Effectiveness Group (British Association for Sexual Health and HIV). UK Guideline for the use of post-exposure prophylaxis for HIV following sexual exposure. International Journal of STD & AIDS 17(2): 81-92. 2006.
- BIAFORE, F. L and ATTELLIS, C.E D. Análisis de la respuesta inmune específica contra el VIH-1 como un proceso óptimo. CLAIB 2007, IFMB proceedings 18, pp. 1015-1019, 2007.
- ATZORI, C.; BONFANTI, P.; CARENZI, L. and RIZZARDINI, G.. Efficacy evidences in prevention of HIV infection in developing countries. A critical appraisal from population-based studies. Journal of medicine and the person, 2009, vol. 7, pgs 70-76
- BORTZ, D. M. and NELSON, P. W. Model selection and mixed effects modelling of HIV infection dynamics. Bullentin of mathematical biology (2006).
- VELICHENKO, V. V. and PRITYKIN, D. A. Control of the medical treatment of AIDS. Automation and Remote Control. Volume 67, Number 3.

Análisis de las salas de cirugía a partir de un modelo de Dinámica de Sistemas

Analysis of the surgery rooms based on a model of dynamic systems

Marco A. Vélez B¹., Ing., Paula A. Velásquez R²., Ing. y Sebastián Jaén³ PhD(c).

^{1,2}Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial – Logística Hospitalaria – U. de A.

³Docente Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia

¹mvelez_med@hotmail.com, ²paulavelasquezr@gmail.com, ³jjaen@udea.edu.co

Resumen: El sistema de salud en Colombia y en el mundo se ha vuelto insostenible debido a los altos costos operativos, lo que ha generado una crisis en la cobertura y atención inmediata de los usuarios. Esto ha promovido una búsqueda de nuevas formas de gestión para subsanar el déficit estructural. Para ello se han llevado a cabo numerosos estudios para la optimización de sus procesos, en particular, en las salas de cirugía. Entre estos estudios se encuentra la realización de un modelo dinámico de sistemas que permite simular el proceso a través de las causas endógenas de la problemática. La Dinámica de Sistemas ha sido utilizada como un método bien efectivo para explorar la conducta no-lineal de un sistema y analizar cuáles son los parámetros que causan esta conducta, es por esto y debido a que los problemas detectados son situaciones propias de la gerencia del sistema, en este caso particular en cirugía, que hemos optado por este método.

El presente trabajo, que se encuentra en la fase preliminar del proyecto, pretende plantear el diagrama causal del sistema, como un paso inicial de construcción e implementación de una metodología de solución para estos problemas en las salas de cirugía teniendo en cuenta los aspectos endógenos que afectan el funcionamiento de las mismas, por medio de la construcción de un modelo dinámico del sistema y la solución del mismo.

Palabras Clave: Dinámica de Sistemas, investigación de operaciones, Logística hospitalaria, salas de cirugía, simulación.

Abstract: the health system in Colombia and the world has become unsustainable due to high

operating costs, which has generated a crisis in coverage and immediate attention from users. This has promoted a search for new forms of management to address the structural deficit, that this ends have been numerous studies to optimize their processes, particularly in operating rooms. Among these studies is the realization of a system dynamic model to simulate the process through the endogenous causes of the problem. System dynamics has been used as a rather effective method for exploring the nonlinear behavior of a system and analyze what are the parameters that cause this behavior, for this reason and because the identified problems are situations in the management system, in this case surgery, we opted for this method.

This work, which is in the preliminary design phase, pretend presenting the causal diagram of the system, as an initial step of construction and implementation of a methodology for solving such problems in the surgical suites taking into account the endogenous affect their operation, through the construction of a dynamic model of the system and its solution.

Key words: hospital logistics, operations research, simulation, surgery rooms, system dynamics.

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las áreas sensibles en un hospital es la de Cirugía, ya que en esta confluyen el uso de recursos que son altamente especializados, y que de manera directa impactan el tiempo de permanencia de los

pacientes, y la liberación de recursos que permitan una mayor capacidad de atención.

Diferentes estudios plantean una deficiente programación de las salas de cirugía debido a la incertidumbre de la llegada y el volumen de pacientes, el estado de los pacientes, la disciplina de la cirugía, el tiempo de la cirugía y la capacidad del quirófano [1-3].

Pérez *et al* exponen que el número promedio de pacientes que llegan a urgencias es de 120 personas por día, los cuales presentan un tiempo de llegada incierto y su estado puede variar entre pacientes críticos, de emergencia, de urgencia con espera, de admisión estándar y de admisión no urgente. La llegada de pacientes a urgencias, su volumen y el estado de los mismos presentan una incertidumbre que afectan directamente los tiempos de la cirugía; los cuales se pueden dividir en tres etapas: el tiempo de preparación, el procedimiento quirúrgico y el tiempo pos anestésico. Dichos tiempos pueden variar según el estado del paciente, lo cual determinará la disciplina de la cirugía [2, 3].

Las principales disciplinas quirúrgicas que demandan los pacientes de urgencia son: ortopedia, cirugía general, cirugía de tórax, cirugía vascular, endoscopia, laparoscopia, cirugía cardiovascular y neurocirugía [4, 5]. La complejidad de cada una de estas disciplinas hace que tanto el tiempo de preparación de la cirugía como el procedimiento quirúrgico como tal, sea variable.

Marcon *et al* [5], después de un estudio de seis meses estipulan que el tiempo promedio de preparación de un quirófano varía en 5 y 30 minutos, y que el tiempo promedio de duración de una cirugía varía entre 10 y 420 minutos. Por otro lado, Marques *et al* [4] estipularon en su estudio que el tiempo de una cirugía general varía entre 5 y 562 minutos, y que el tiempo de una cirugía ambulatoria varía entre 2 y 155 minutos; además, calculan que el tiempo promedio pos anestésico varía entre 30 y 180 minutos.

Al no contemplar en la planificación y la programación de las salas de cirugía estos aspectos probabilísticos importantes, se está afectando el funcionamiento óptimo de las salas, haciendo que se preste un servicio con deficiente calidad, afectando la oportunidad, continuidad y la pertinencia,

añadiendo además los costos del hospital. Todo lo anteriormente planteado, se ve reflejado en la cancelación de las cirugías, los retardos en las cirugías, los tiempos de espera largos para los pacientes, los tiempos muertos del quirófano y trabajo de horas extras del personal quirúrgico. Esta opinión es respaldada con el trabajo de Cardoen *et al* [2] y Jiménez *et al* [3].

Jiménez *et al* [3], exponen el problema de subutilización de salas donde un histórico de su estudio revela que las salas de cirugía de mayor ocupación se programan apenas el 59% del tiempo disponible y resalta que el efecto de los tiempos muertos en la programación y las demoras causadas por la sub-estimación de la duración de algunas cirugías, hace que se utilice el 86% del tiempo disponible. Estos mismos autores exponen que el porcentaje promedio del atraso de cirugías programadas es del 49%.

2.2 HIPOTESIS DINÁMICA

Según los indicadores de calidad del Ministerio de Protección Social colombiano, estipulados por la resolución 1446/06, el porcentaje de cancelación de las cirugías programadas es de 8.7% (2006), 7.7% (2007), 9-13.5% (2008) y de 8% (2009) y el retraso en las cirugías programadas es de 1 a 1.3 días para el 2008.

Teniendo un primer análisis en esta área tenemos que los mayores problemas presentados son:

- Cancelación de Cirugías: cuando no se puede realizar la intervención quirúrgica planeada.
- Oportunidad de servicio: cuando el paciente requiere esperar para poder ser operado.

Tal y como nos la muestra el diagrama causal, representado en la figura 1, se observa cómo la cancelación de las cirugías repercute tanto en el aumento de los costos del sistema como en la disminución en la calidad del servicio, afectando la calidad del personal, trayendo como consecuencias un retraso en las cirugías y su posterior cancelación, lo que conlleva a un círculo vicioso y al crecimiento de la situación del problema.

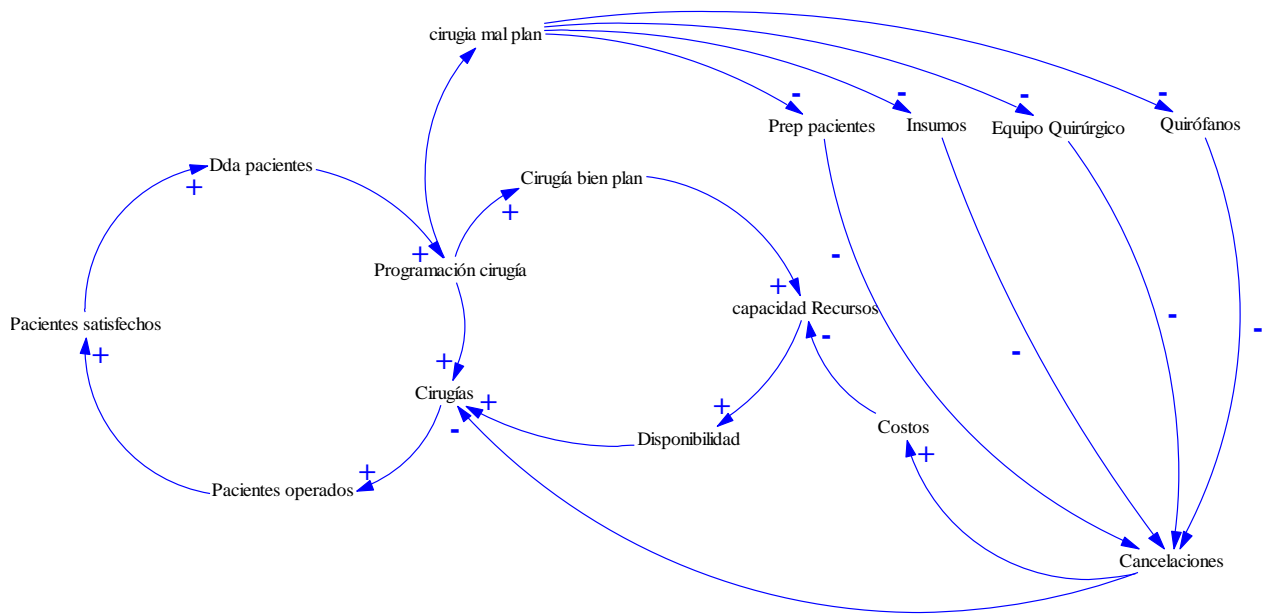


FIGURA 1

Las causas de la cancelación de cirugía pueden ser clasificadas así:

- Cancelaciones atribuibles al paciente.
- Cancelaciones atribuibles al hospital.

Para poder modelar cómo estas causas repercutían en el sistema, primero se realizó la modelación del sistema actual:

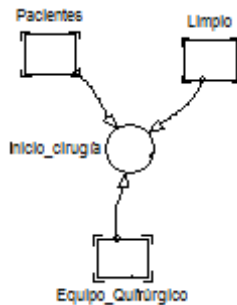


FIGURA 2

Se pudo apreciar que para que el servicio esté disponible, requiere de tres variables:

1. Que el quirófano se encuentre listo, eso quiere decir, que esté con los niveles de limpieza establecidos para cada intervención.

2. Que el grupo médico (entiéndase especialista, enfermeras y anestesiólogo), se encuentre en su totalidad para realizar el proceso.

3. Que el paciente se encuentre preparado para la operación.

Al modelar en primera instancia, se observó que el servicio depende de la tasa de llegada del paciente, y que esto repercute en el nivel de servicio.

Si el tiempo entre la llegada de pacientes es mayor que el tiempo de tener todo disponible, la ocupación del quirófano es completa, y la oportunidad de atención es total, y no genera esperas, pero sí se evidencian tiempos muertos del servicio.

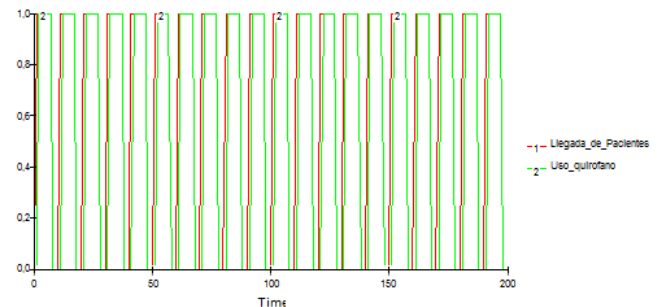


FIGURA 3

Pero en el caso de que ese tiempo de llegada sea igual o menor al tiempo de servicio, genera esperas del paciente pero no se evidencian tiempos muertos del servicio.

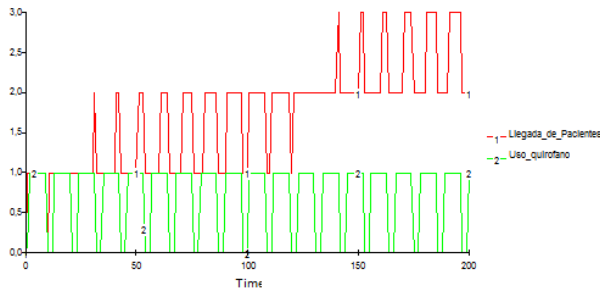


FIGURA 4

Estos escenarios son en el caso de que no se generen cancelaciones de la cirugía.

Al modelar este escenario, vimos el impacto de las cancelaciones en la cirugía en el aumento de los tiempos muertos del servicio.

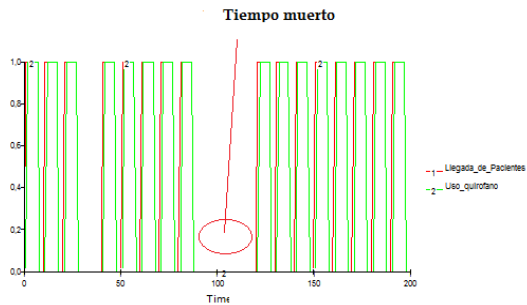


FIGURA 5

Si llevamos este panorama en costos de tener el servicio disponible, y dándole un costo en unidad monetaria (UM) de 100 UM al equipo quirúrgico y 70 UM al quirófano, tenemos un incremento del 30%.

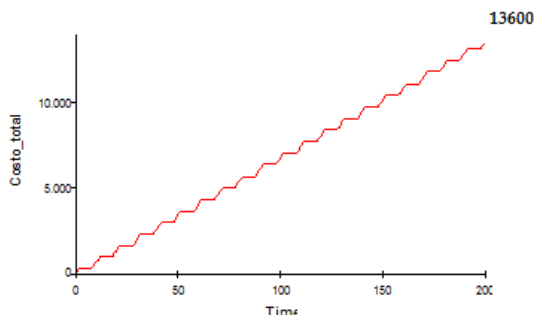


FIGURA 6. Sin Cancelaciones

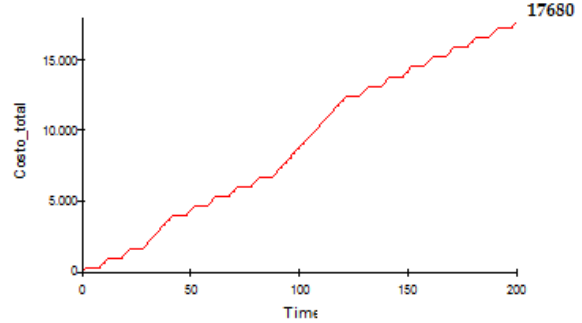


FIGURA 7. Con cancelaciones

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Una de las primeras conclusiones que podemos tener acerca de lo analizado en la simulación de diferentes panoramas, es que la tasa de llegada de los pacientes al área de cirugía afecta directamente a la variable de oportunidad de servicio, si esta tasa es mayor que la tasa de ocupación del servicio, no generaría ninguna demoras en la atención del paciente, sin embargo, generaría costos de inactividad.

Por el contrario, si esa tasa es menor, disminuiría la atención, ya que generaría esperas en el sistema.

También se puede concluir preliminarmente que las cancelaciones producen incrementos en los costos, ya que generan “tiempos muertos” en el servicio.

Concluimos que es necesario seguir con la simulación del sistema, enfocándonos en las probables causas que nos generan esas cancelaciones.

REFERENCIAS

- [1] DENTON, B.; VIAPIANO, J.; & VOGL, A. “Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty”. *Health care manage sci* (v.10), año 2007. pp. 13-24.
- [2] CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. Operating room planning and scheduling: a literature review. Katholieke universiteit leuven, department of decision sciences and information. Leuven, belgium: faculty of business and economics. *European journal of operational research* (v.201) año 2010. pp. 921-932.
- [3] JIMÉNEZ, A. M.; VELASCO, N. y AMAYA, C. Estrategias de programación de salas de cirugía. Un caso de aplicación en un hospital de Bogotá. Departamento de Ingeniería

Industrial, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia (2008).

[4] MARQUES M., INÊS.; CAPTIVO, Eugenia; VAZ PATO, Margarida. Planning elective surgeries Analysis and comparison in a real case. Centro de Investigação Operacional, 2009.

[5] E. MARCON, S.; KHARRAJA, G. Simonnet, The operating theatre planning by the follow-up of the risk of no realization, International Journal of Production Economics (v.85) año 2003. Pp. 83–90.

Análisis de la atención en urgencias a partir de un modelo de Dinámica de Sistemas.

Analysis of emergency care in from a model of dynamic systems.

Paula A. Velásquez R¹., Ing., Marco A. Vélez B²., Ing. y Sebastián Jaén³ PhD(c).

1. Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial – Logística Hospitalaria – U. de A.
paulavelasquezr@gmail.com
2. Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial – Logística Hospitalaria – U. de A.
mvelez_med@hotmail.com
3. Docente Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia
jjjaen@udea.edu.co

Resumen: El sistema de salud en Colombia y en otros países del mundo tienen altos costos de funcionamiento que lo hacen insostenible. Esto ha promovido una búsqueda de nuevas formas de gestión para subsanar el déficit estructural. El estudio de la gestión en organizaciones de salud debe ser entendido sin perder de vista el enfoque financiero, ser aplicado más allá de la gerencia estratégica, como en la gestión de los procesos operativos. En esta gestión operativa los servicios de urgencias cumplen una misión fundamental, ya que son unidades diseñadas para brindar tratamiento especializado con disponibilidad inmediata y gratuita de recursos especiales a pacientes que requieran cuidados urgentes a cualquier hora del día, independientemente de su capacidad socioeconómica y de su sistema de afiliación a salud; lo que ha generado una sobredemanda del servicio afectando directamente oportunidad y la calidad en la prestación del mismo, aumentando los tiempos de espera para que los pacientes sean atendidos, incrementando la mortalidad y la discapacidad en los pacientes.

Con este proyecto se desea indagar sobre la dinámica que enfrenta el servicio de urgencias para buscar la construcción de un modelo que permita optimizar el sistema, con el fin de poder disminuir los tiempos de espera de los pacientes, buscando brindar una atención continua y segura, con el objetivo de reducir la probabilidad de morir, y aumentar la oportunidad en la prestación del servicio y la satisfacción del usuario.

Palabras Clave: urgencias, Dinámica de Sistemas, logística hospitalaria, optimización de procesos.

Abstract: The health system in Colombia and other countries, have high operating costs that make it untenable. This has promoted a search for new forms of management to address the structural deficit. The study of management, health organizations must be understood without losing sight of the financial approach be applied beyond the strategic management, and in the management of business processes. In the operational management of emergency services play a vital, as are units designed to provide specialized treatment, with immediate and free availability of special resources for patients requiring emergency care at any time of day, regardless of ability and socioeconomic of health system membership, thereby giving rise to an oversubscription of the service directly affecting timeliness and quality in providing the same, increasing waiting times for patients to be treated, increasing mortality and disability in patients .

With this project we want to investigate the dynamics facing the emergency department for seeking to build a model to optimize the system, in order to reduce waiting times for patients seeking to provide a continuum of care and safe with the aim of reducing the likelihood of dying, and increase the timeliness in providing the service, and customer satisfaction.

Key words: emergencies department, dynamic systems, hospital logistics, optimization of processes.

1. INTRODUCCIÓN

Los servicios de urgencias constituyen una de las áreas esenciales para el desempeño de una institución de atención asistencial. Las urgencias demandan una enorme labor de gestión logística por parte de toda la organización, ya que impactan de manera inmediata las condiciones de vida e incapacidad de los pacientes. Esta situación condiciona a que este servicio esté demandando y presionando los recursos de las demás existentes, generando en muchos casos conflictos de intereses que repercuten en la atención del paciente [1].

Las principales áreas que apoya de manera directa el trabajo de urgencias son las áreas de cirugía, unidad de cuidados intensivos (UCI), unidad de cuidados especiales (UCE) y hospitalización. En estas confluyen el uso de recursos que son altamente especializados, y que de manera directa impactan el tiempo de permanencia de los pacientes, y la liberación de recursos que permitan una mayor capacidad de atención.

Desde esta perspectiva, se identifica la necesidad de entender claramente la dinámica del servicio de urgencias, de manera que se pueda mejorar su interrelación con las otras áreas y por ende su desempeño. Sin embargo, el entendimiento o aprendizaje de un sistema como éste, depende muchas veces de la experimentación que se pueda hacer con él. Esta experimentación es costosa en tiempo y dinero, si se hiciese de manera directa y real sobre él. Es por esto que se plantea la necesidad de modelar el sistema real, de forma que se pueda construir un “micro mundo” que sirva al entendimiento de la dinámica del servicio urgencias y la optimización de su planeación y manejo.

Este trabajo de investigación contiene las siguientes etapas: una identificación y estructuración del problema. Una segunda etapa donde se establece una hipótesis dinámica del problema e identificación de las variables más relevantes, las cuales miden el desempeño del sistema en términos de calidad de mortalidad y costos para la institución. Una tercera etapa donde se expone cómo ha sido el proceso de construcción del modelo con el personal de salud y la evaluación inicial del sistema, y por último, se concluye y se manifiestan los estudios futuros.

En conclusión, con este proyecto se desea indagar sobre la dinámica que enfrenta el servicio de urgencias en su atención a pacientes para buscar la

construcción de un modelo que permita optimizar el sistema.

2. DINÁMICA DE LA ATENCIÓN DE PACIENTES URGENTES

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los departamentos o los servicios de urgencias de los hospitales, los cuales se conocen en la nomenclatura anglosajona como ED (Emergency Department), son en la actualidad uno de los servicios más concurridos dentro de los establecimientos de salud. Surgieron a mediados del siglo XX motivados por las grandes guerras mundiales, con el fin de otorgar apoyo terapéutico más inmediato en el tiempo [2]. En 1960 se da la evolución de la atención urgente en EE. UU., la cual recoge la demanda social en los primeros servicios de urgencia [3,1], cuya medida se fue adoptando por los diferentes sistemas de salud en diferentes países del mundo. En 1990 en Colombia, la Ley 100 establece que todas las entidades o instituciones que prestan servicios de salud están obligadas a brindar la atención inicial de urgencias, con independencia de la capacidad socioeconómica de los demandantes de este servicio; continuando con esta misma filosofía, la Ley 100 de 1993 garantizando la atención de urgencias a todo el territorio nacional colombiano [1].

El hacinamiento en los actuales servicios de urgencias de los hospitales, el aumento de las visitas a urgencias por pacientes que no presentan realmente problemas de emergencia y la poca capacidad del servicio para prestar atención a todos los pacientes demandantes, hacen que cada vez sean más las quejas sobre la calidad de la atención médica en urgencias [4].

Las causas de la saturación desproporcionada de los servicios de urgencias, que en algunos casos los han llevado al colapso y la insatisfacción de los usuarios, no se conocen con certeza, aunque se encuentran múltiples explicaciones al respecto, debido a que es un problema mundial latente desde hace muchos años. Dentro de las explicaciones a dicho problema, se encuentran las siguientes:

a) La ampliación física de las instalaciones de los servicios de urgencias no han seguido el ritmo de aumento de la demanda de la población. Al respecto, cabe citar al Dr. Juan Guillermo Maya, ex secretario de Salud de Antioquia, el cual manifiesta que: “la saturación de los servicios de urgencias en Medellín ha sido reiterada en los últimos años, pues pese al aumento de la capacidad instalada en número de

camas por la apertura de nuevas clínicas (privadas) y el mejoramiento de infraestructura en Metrosalud y el Hospital General (públicos), los servicios de urgencias siguen siendo insuficientes... [5]" Troup y Van Niel [4], quienes han estudiado dicho problema, manifiestan que los hospitales en general han aumentado la capacidad de los servicios de urgencia solo después de que la demanda se ha convertido en crítica; además, expresan que los servicios de urgencias por lo general han tenido una baja prioridad en la asignación de presupuesto y en los programas de expansión y modernización.

b) Los servicios de urgencias de los hospitales se han convertido en el médico de los ciudadanos pobres, ya que por ley esta es la opción más "rápida" de que puedan atender a un ciudadano independientemente de su clase de afiliación al sistema de salud y de su capacidad socioeconómica; siendo así, el mecanismo de urgencia es la ruta más conveniente para la consulta externa.

En ese sentido, Troup y Van Niel [4], exponen que la utilización de los servicios de urgencias también se ha asociado con la situación económica de la población, ellos expresan que estudios han demostrado que las familias con altos ingresos hacen uso del servicio de urgencias solo en situaciones de verdadera emergencia, mientras que las familias de bajos ingresos utilizan el servicio como una fuente de cuidado continuo. Es así como en un nivel inicial la prestación del servicio de urgencias no tiene límites, se debe prestar el servicio a cualquier tipo de persona, independiente de su estado socioeconómico y de la patología o diagnóstico que presente; esto, enmarcado en el desarrollo general de la salud pública; lo que hace que el ámbito de servicios prestados sea amplio e indeterminado, por lo cual las atenciones de urgencias son difíciles de cuantificar y limitar [3].

c) Los departamentos de urgencia presentan cuellos de botella dentro de su funcionamiento y entran en colapso no sólo por la demanda creciente de pacientes, sino también por la interacción de este servicio con otros servicios o departamentos del hospital como lo son: los departamentos de cirugía, hospitalización, las unidades de cuidado intensivo (UCI), entre otros, lo cual dificulta el flujo de pacientes y alarga los tiempos de atención de los mismos. Los Servicios de Urgencia son unidades médico-quirúrgicas hospitalarias, destinadas a la atención oportuna y eficiente, de pacientes con diversas situaciones clínicas urgentes [3]. Brindan atención en todo horario y hacen uso de los recursos de todo el hospital teniendo en cuenta la estructura de

cuidados progresivos, lo cual provoca problemas de funcionamiento por la congestión de los servicios, debido a la poca coordinación e interacción entre los mismos, lo que dificulta las posibilidades de una atención fluida y oportuna para los pacientes. Adicionalmente, esto implica un alto costo monetario asociado a los tiempos de atención [3].

La Clínica León XIII, sede de la IPS Universitaria de la Universidad de Antioquia, es una de las más reconocidas en Medellín. Al servicio de urgencias de la Clínica León XIII llega un promedio de 200 personas al día con diferentes clases de emergencias, los cuales son direccionados a los consultorios de triage para definir su prioridad de atención. El porcentaje de ocupación del servicio sobrepasa los límites (normalmente se encuentra entre 105 y 110%), lo que ha creado una sobresaturación dentro del servicio que en últimas puede afectar la calidad en la prestación del servicio, la oportunidad, continuidad y pertinencia del mismo.

El problema consiste en identificar la dinámica que presenta el departamento de urgencias de la IPS Universitaria, sede Clínica León XIII de Medellín, con el fin de poder evaluar las mejoras necesarias para optimizar el flujo de pacientes por dicho servicio, disminuyendo así los tiempos de espera de los pacientes, buscando brindar una atención continua y segura, con el objetivo de reducir la probabilidad de morir, y aumentar la oportunidad en la prestación del servicio, y la satisfacción del usuario, al mismo tiempo que se optimizan costos para la clínica. El entendimiento de esta dinámica se realizará, a partir de la construcción de un modelo que permita representar el funcionamiento de urgencias y su interacción con los otros departamentos de la clínica que sean más relevantes: Cirugía, Hospitalización, UCI y UCE. El objetivo fundamental del modelo es permitir el aprendizaje del sistema, y proporcionar una herramienta para que la clínica administre de manera estratégica y operativa, la atención de sus usuarios en urgencias.

2.2 HIPÓTESIS DINÁMICA

En los últimos años el sector hospitalario en el mundo ha sufrido grandes transformaciones debido a factores de crisis específicos: crecimiento del gasto sanitario, al igual que una crisis económica mundial que lo afectó indirectamente. Esto ha promovido una búsqueda de nuevas formas de gestión para subsanar el déficit estructural [6, 7], lo que ha llevado a que varios países entren en una reforma hospitalaria como tema de gran relevancia en la modernización de los sistemas de salud, ya que una gran proporción de los

recursos de salud son utilizados por los hospitales y se ha encontrado evidencia de que en algunos casos hay un ineffectivo e ineficiente uso de los recursos [6, 7]. Dichas reformas hospitalarias llevan a tener como metas principales incrementar la productividad, la eficiencia, la calidad de atención y la cobertura, convirtiendo a los hospitales como entidades “autónomas”, por lo que el futuro y la supervivencia de los mismos estaría condicionada a la gestión hospitalaria [8], lo que conlleva a una gran preocupación por incrementar el rendimiento y la mejora en la gestión.

El estudio de la gestión, en organizaciones de salud, debe ser entendido sin perder de vista el enfoque financiero. Ser aplicado más allá de la gerencia estratégica, como en los procesos de gestión operativo [9]. En este sentido se ha generado un interés de apoyar la gestión basándose en el logro de una atención oportuna, confiable y de calidad.

Un hospital en su conjunto funciona como un sistema, el cual está compuesto por varios subsistemas: UCI, Hospitalización, Departamento de Cirugía, Servicio de Urgencias, etc., que interactúan entre sí en forma dinámica, donde si una de las partes deja de funcionar o no tiene una sinergia con el conjunto, el sistema comienza a presentar conflictos. Es precisamente en ese sentido, donde estudios evidencian que la falta de disponibilidad de camas para pacientes que desde urgencias requieren ser hospitalizados o internados en una UCI, son uno de los grandes problemas que generan cuellos de botella en el funcionamiento eficaz de los departamentos de urgencias de un hospital [10,11], creando la necesidad de determinar y predecir el nivel de ocupación de camas, teniendo en cuenta la incertidumbre de la llegada de pacientes urgentes [12,13, 14-25].

Otros estudios exponen que la planeación de las actividades quirúrgicas deben considerar la naturaleza incierta de la demanda de la cirugía de emergencia, las cuales pueden generar retardos en las cirugías o aplazamientos de los procedimientos quirúrgicos, que pueden degradar la percepción de la calidad en la prestación del servicio, al mismo tiempo que se genera la incursión en costos adicionales para el hospital [26-28], lo cual se ve reflejado en la cancelación de las cirugías, los retardos en las cirugías, los tiempos de espera largos para los pacientes, los tiempos muertos del quirófano y trabajo de horas extras del personal quirúrgico. Esta opinión es respaldada con el trabajo de Cardoen *et al* [27] y Jiménez *et al* [28]. Además, la planificación de los departamentos de cirugía y UCI debe ser

coordinada y deben de considerar la incertidumbre de la llegada de pacientes emergentes o urgentes [29, 30].

En este escenario, algunos estudios sugieren que gran parte de los embotellamientos en los servicios de urgencias corresponden a una ineficiencia operativa del flujo de pacientes que debe ser intervenido (realizarse un procedimiento quirúrgico) u hospitalizado en una unidad de cuidados intensivos, ya sea por la no disponibilidad de camas en la unidad o por la falta oportuna de equipos médicos y personal asistencial especializados para su atención. En fin, el largo proceso que debiera ser fluido y organizado, se ve a cada momento entorpecido, generando colas de espera que afectan a todos los pacientes que esperan ser atendidos [2], haciendo que los departamentos de urgencias entren en colapso no sólo por la demanda creciente de pacientes, sino también por la poca interacción y coordinación de este departamento con otros departamentos del hospital, lo que dificulta el flujo de pacientes.

Todo lo anterior permite evidenciar que el funcionamiento de un hospital es como un sistema. Las decisiones de cada agente inmerso en él, presentan un problema de vital relevancia, dado que dichos agentes deben considerar la reacción del sistema, y como esas reacciones configuran el comportamiento futuro del hospital en sus diferentes dependencias. Por lo tanto, se hace necesario proporcionar un entorno a partir del cual se pueda entender la estructura del sistema, y estudiar la relación existente entre sus diferentes áreas, con el objetivo de ser una herramienta de ayuda en el proceso de toma de decisiones, planificación de operaciones y optimización de procesos. La **Figura 1**, esquematiza la dinámica básica del flujo de pacientes dentro de un hospital.

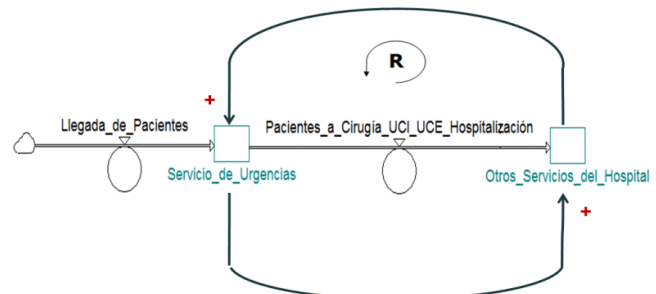


Figura 1. Diagrama causal de la interacción de los pacientes urgentes con diferentes departamentos de un hospital

La **Figura 1** permite evidenciar cómo los pacientes de urgencias pueden demandar atención de los otros

servicios; es así como los departamentos de urgencias se saturan dependiendo de la capacidad de los demás servicios. En ese sentido, urgencias es un departamento que altera el funcionamiento del hospital en su conjunto.

El problema de saturación de los servicios de urgencia es un problema de trascendencia mundial presente desde hace muchos años. En 1972 hace tres décadas atrás, Troup y Van [4], teniendo en cuenta las dificultades que presentaban los servicios de urgencias en E.E. U.U. para la prestación del servicio debido al incremento en la demanda y por ende la saturación de los servicios, trabajaron un modelo de Dinámica de Sistemas con el objetivo de facilitar la planificación de los departamento de urgencias y dar solución a los problemas en la prestación del servicio. Sin embargo, en el año 2000, casi 30 años después, Lane *et al* [31] motivados por la preocupación pública sobre los largos tiempos de espera para la admisión de pacientes urgentes, realizaron un estudio cuyo objetivo fue estudiar los factores contribuyentes a esos retrasos. Así mismo, en el 2007, España habla de la saturación de los servicios de urgencia de sus hospitales, presentándose que el 52.5% de los ingresos hospitalarios para este año fueron urgentes [32]. En el año 2008, la asociación “el defensor del paciente” en Madrid España, expresa la preocupación por los numerosos colapsos de los servicios de urgencias de los hospitales madrileños, los cuales han generado grandes muertes en los servicios. En este

mismo sentido, otros países como México exponen el problema de la mortalidad materna en las urgencias obstétricas debido a los largos tiempos de espera [33] y el Instituto Centroamericano de Administración Pública ICAP exponen que los problemas de saturación que presentan los hospitales de Costa Rica no corresponden a verdaderas urgencias [34]. Lo anterior es solo por citar algunos ejemplos. No obstante, Colombia no es un caso excepcional donde en diferentes ciudades se presenta un colapso de los servicios de urgencias [35].

La saturación en los servicios de urgencia afecta directamente la oportunidad y la calidad de la atención a los pacientes urgentes, los cuales requieren de una atención inmediata, aumentando así la mortalidad y la discapacidad de los pacientes en los servicios de urgencia y disminuyendo la calidad de vida de los mismos.

En ese sentido se evalúa la dinámica básica de la atención de urgencias que incide en una atención oportuna y de calidad y que influye directamente en la mortalidad y la discapacidad de pacientes urgentes, teniendo en cuenta la dotación del personal médico, la capacidad del personal asistencial, la capacidad de los otros departamentos o servicios del hospital, la calidad en la prestación del servicio y los costos (ver **Figura 2**).

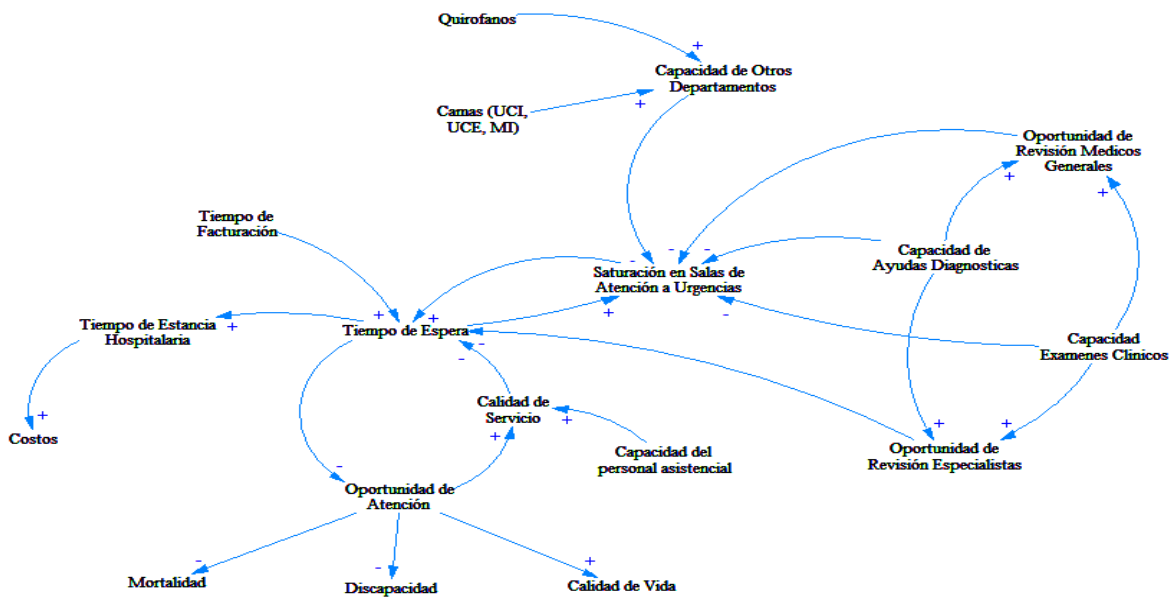


Figura 2. Dinámica básica de la atención en urgencias. Variables que afectan la oportunidad en la atención, la mortalidad, la discapacidad y la calidad de vida de los pacientes.

La oportunidad de la atención a urgencias está directamente relacionada con los tiempos de espera para que los pacientes puedan ser atendidos,

afectando directamente la calidad de la atención a los pacientes y la mortalidad. Es bien estudiado que la oportunidad en la atención y el fortalecimiento de la

capacidad resolutoria del personal que presta asistencia a las personas en situaciones de urgencia o emergencia, mejora el pronóstico de los lesionados, aumenta la eficiencia del sistema de salud y reduce el tiempo de estancia en los hospitales, generando de esta forma una mayor continuidad y pertinencia en la prestación del servicio de salud y un menor impacto económico, permitiendo una optimización del gasto público. Además, se sabe que muchas secuelas y lesiones definitivas como pérdida de miembros, lesiones irreparables de columna vertebral, secuelas que incapacitan parcial o totalmente a la persona, alteraciones neurológicas y disfunciones cardiorrespiratorias, pueden también evitarse con acciones iniciales en el momento oportuno. Esta opinión es soportada por el Ministerio de Protección Social de la República de Colombia, cuando en su presentación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres - SNPAD expone que: "la evidencia sugiere que la atención oportuna puede prevenir muertes y disminuir costos" [36].

El tiempo de espera para que los pacientes puedan ser atendidos está directamente relacionado con la saturación de los servicios de urgencias, los cuales a su vez presentan dicho fenómeno por la falta de personal médico especialista, personal asistencial, por largos tiempos de espera para la entrega de exámenes clínicos y ayudas diagnósticas necesarias para poder realizar la evaluación del paciente, así como la capacidad de atención de otros servicios o departamentos del hospital como lo son cirugía, ortopedia, UCI, UCE y hospitalización, que permitan brindar una atención continua a los pacientes que por su gravedad requieran de una cirugía, una atención de cuidados intensivos o especiales, o simplemente una atención más especializada.

Teniendo en cuenta lo anterior, y que la congestión del área de urgencias es un problema común en la mayoría de los hospitales de Colombia, debido a que debe tratar no solamente casos graves, sino también se debe dar el diagnóstico a pacientes que regularmente deberían ser atendidos en consulta externa por ley, este trabajo se centra en estudiar la dinámica del servicio de urgencias de la Clínica León XIII de Medellín, evaluando el porqué se da la saturación de pacientes en el servicio, con el objetivo de disminuir los tiempos de espera para los pacientes, prestando así servicios con oportunidad y calidad, buscando disminuir la mortalidad, mediante el desarrollo de un modelo que permita examinar las implicaciones de las diferentes políticas implementadas en la programación y

planificación del funcionamiento del servicio de urgencias y la atención de pacientes. La metodología de Dinámica de Sistemas es utilizada por la complejidad del problema.

3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y EVALUACIÓN INICIAL DEL SISTEMA

La construcción del modelo inicial se ha llevado a cabo mediante un proceso interactivo de investigación conjunta entre el personal administrativo y asistencial de la Clínica, cuyo objetivo fundamental es evaluar la percepción que se tiene del sistema, para construir un modelo transparente que les genere la confianza y credibilidad suficientes para poder evaluar sus políticas de funcionamiento con el mismo; permitiéndole así al personal, ser parte activa en la construcción del modelo.

La evaluación inicial del sistema se dividió en dos etapas. La primera etapa consiste en evaluar el funcionamiento del sistema interno, es decir, evaluando el proceso donde solo se involucra el servicio de urgencias como tal, teniendo en cuenta el funcionamiento de los procesos y el personal asistencial. La segunda etapa consiste en evaluar la interacción del servicio de urgencias con otros servicios y/o departamentos de la Clínica (UCI, UCE, Cirugía, etc.). El presente trabajo se enfocara en la primera etapa de evaluación.

En un estudio previo se identificaron los tiempos de atención del servicio de urgencias de la IPS Universitaria de la Clínica León XIII de Medellín [37]. El estudio se realizó en una semana del mes de abril de 2010. El sistema de información de la clínica GHIPS permite evidenciar que el mes de abril es un mes que se caracteriza por tener un nivel de ingresos de pacientes estándar.

Cuando un paciente ingresa al servicio de urgencias demanda de diferentes tipos de atención, dependiendo de su gravedad. La gravedad del paciente se determina mediante la clasificación Triage.

El triage es un método de la medicina de emergencias y desastres para la selección y clasificación de los pacientes, que se basa en las prioridades de atención, existiendo la posibilidad de sobrevida, según las necesidades terapéuticas y los recursos disponibles. Es decir, se atiende a los pacientes no por su orden de llegada sino por la gravedad de su patología. Se prioriza el compromiso vital y las posibles complicaciones [3].

En situación normal se privilegia la atención del paciente más grave, el de mayor prioridad [3]. En este sentido, la gravedad del paciente se determina mediante la clasificación Triage de la siguiente manera:

- Nivel de prioridad I: Resucitación. Condiciones amenazantes para la vida (riesgo inminente de deterioro), requiriendo intervenciones agresivas inmediatas. Tiempo de atención del médico: inmediato.
- Nivel de prioridad II: Emergencia. Condiciones que son una amenaza potencial y requieren una intervención médica rápida o la realización rápida de procedimientos del equipo de salud. Tiempo de valoración e intervención del médico(a): 15 minutos.
- Nivel de prioridad III: Urgencia. Condiciones que podrían progresar potencialmente a un problema serio que requieran intervención de emergencia. Puede asociarse con incomodidad importante que impida realizar su trabajo o desempeñar actividades del diario vivir. Tiempo de valoración e intervención del médico(a): 30 minutos.
- Nivel de prioridad IV: Urgencia diferida. Condiciones que relacionadas con la edad del paciente, el dolor o potencial deterioro o complicaciones, se beneficiarían de una intervención médica que puede demorarse entre 1 y 2 horas. Tiempo de valoración e intervención del médico(a): 1 hora.
- Nivel de prioridad V: No urgencia. Condiciones que pueden ser agudas pero no urgentes, así como condiciones que pueden ser parte de un problema crónico sin la evidencia de deterioro. Podría tardarse el examen o intervenciones para algunas de las enfermedades o lesiones, o podrían remitirse a otras áreas del hospital o sistema de cuidado de salud. Tiempo de valoración e intervención del médico(a): 2 horas [37].

En este estudio se encontró que al servicio de urgencias de la Clínica León XIII llega un promedio de 200 personas diarias, de las cuales 1.3% ingresan directo al servicio de urgencias y el 98.7% restante son direccionadas a consultorios Triage. Con la clasificación de triage, el 42.4% de los pacientes evaluados se les dio de alta, el resto ingresaron al servicio.

Los pacientes clasificados como resucitación, son pacientes críticos que demandan atención inmediata, por lo que normalmente son atendidos por médicos especialistas (Urgentólogos). Los demás pacientes son evaluados primero por un médico general, el cual determina el tipo de

tratamiento a aplicar; si el paciente requiere o no interconsulta (revisión por médico especialista), si para el diagnóstico necesita de alguna ayuda diagnóstica o examen clínico, pide traslado a pisos, o da de alta al paciente y lo remite por consulta externa.

En el diagnóstico inicial se evaluaron los requerimientos de personal (médicos para clasificación triage, médicos generales, urgentólogos, auxiliares de enfermería y enfermeras) necesarios para atender una demanda de 200 pacientes diarios.

Para la clasificación inicial de Triage, el servicio cuenta con la presencia de dos médicos generales. Si dicha clasificación se realiza en un tiempo máximo de 12 minutos, siguiendo el protocolo internacional de víctimas en masa, se da una atención oportuna a los pacientes, evidenciándose una priorización casi inmediata, como lo muestra la **Figura 3**.

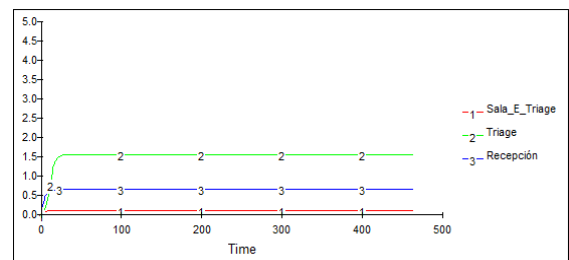


Figura 3. Pacientes en recepción de urgencias (azul), Pacientes esperando para ser priorizados por triage (rojo) y pacientes en priorización triage (verde).

Si por el contrario, dicho tiempo de priorización tiene un promedio de 15 minutos, como se identificó en el estudio de tiempos de atención en el servicio de urgencias de la Clínica León XIII [37], la priorización por triage ya no es tan oportuna, ya que empieza a incrementarse el número de pacientes esperando ser priorizados, ver **Figura 4**.

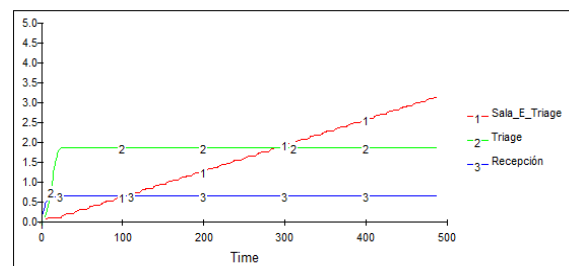


Figura 4. Pacientes en recepción de urgencias (azul), Pacientes esperando para ser priorizados

por triage (rojo) y pacientes en priorización triage (verde).

Pero si el tiempo de priorización es igual o mayor a 20 minutos, el incremento de pacientes esperando por ser priorizado es mucho mayor, afectando directamente la oportunidad en la atención, como se puede observar en la **Figura 5**.

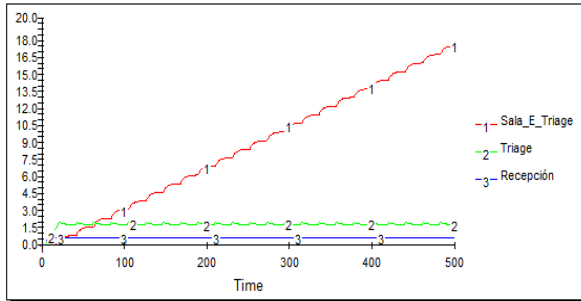


Figura 5. Pacientes en recepción de urgencias (azul), Pacientes esperando para ser priorizados por triage (rojo) y pacientes en priorización triage (verde).

Lo anterior es un comportamiento derivado de una de las causas que generan los colapsos en los servicios de urgencias y que fue enunciada en el planteamiento del problema: “Los servicios de urgencias de los hospitales se ha convertido en el médico de los ciudadanos pobres”, encontrando que los ciudadanos que no pueden acceder a la consulta externa por falta de una seguridad social o por la misma oportunidad de atención que tiene el sistema de salud, prefieren acudir al servicio de urgencias. Lo anterior lo soporta la estadista que referencia que el 42.4% de las personas evaluadas en triage fueron dadas de alta. Lo anterior hace que en la evaluación triage muchos médicos no la utilicen sólo para hacer una priorización de pacientes, sino que a su vez se convierta en una consulta externa para el paciente, aumentando el tiempo de la misma, lo que desestabiliza el sistema y alarga los tiempos de espera para los pacientes urgentes, disminuyendo la oportunidad de atención para los mismos.

Una vez clasificados los pacientes según la complejidad de su estado, éstos requieren evaluación por médico, dicha evaluación la hará, o un médico general o un médico urgentólogo, dependiendo de la clasificación de los pacientes. Los pacientes clasificados como resucitación son considerados como críticos y requieren atención inmediata, por lo que estos pacientes son atendidos por un médico urgentólogo. Los otros pacientes clasificados como emergentes, urgentes, urgencias

diferidas y no urgentes, son valorados por un médico general en primera instancia y si el médico lo considera, genera una interconsulta para la valoración por un médico especialista según el diagnóstico.

El estudio de identificación de tiempos permitió realizar una distribución de prioridad de atención en triage en la Clínica León XIII. Dicha distribución, se puede valorar en la **Figura 6**.

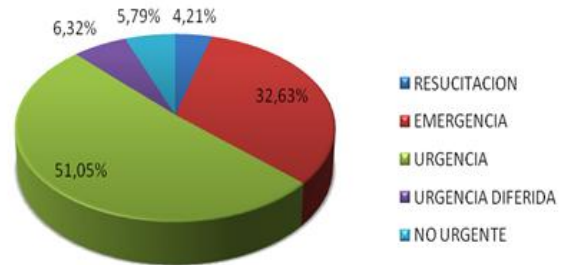


Figura 6. Distribución porcentual de la prioridad en triage de los casos analizados durante el periodo abril 19 – abril 25. Servicio de urgencias IPS UNIVERSITARIA, Sede clínica León XIII [37].

Teniendo en cuenta lo anterior, se evaluó la capacidad y la oportunidad de atención a pacientes críticos, clasificados como resucitación, contando con que el servicio tiene a disposición un médico urgentólogo y una auxiliar de enfermería las 24 horas del día para atender dichos pacientes.

La **Figura 7** permite evidenciar que para el porcentaje de pacientes críticos (Resucitación) que entran al servicio de urgencias, con un médico urgentólogo y tres auxiliares disponibles las 24 horas del día, se estaría brindando una atención inicial oportuna, teniendo en cuenta un tiempo de atención y valoración inicial por el urgentólogo de 20 minutos y un tiempo a atención por auxiliar de 1 hora.

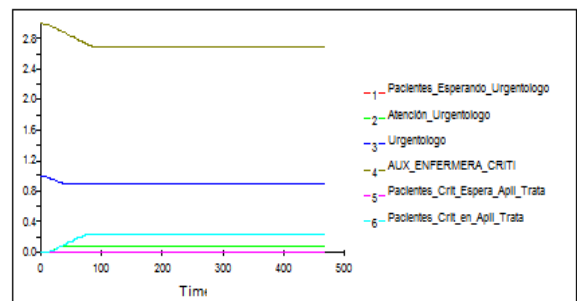


Figura 7. Pacientes esperando ser valorados por el urgentólogo (rojo), pacientes siendo atendidos por urgentólogo (verde), disponibilidad urgentólogo

(azul oscuro), disponibilidad auxiliar de enfermería (gris), pacientes críticos esperando la aplicación del tratamiento (rosado), y pacientes en tratamiento (azul claro).

Sin embargo, muchas veces los pacientes clasificados como emergentes, son también valorados por el médico urgentólogo, debido a su estado de criticidad. Se evaluó, entonces, la capacidad del servicio para atender tanto al porcentaje de pacientes que ingresan diario y los clasificados como resucitación y emergentes, teniendo un urgentólogo y tres auxiliares de enfermería disponibles las 24 horas del día, para dicha atención inicial.

La **Figura 8** permite evidenciar que el sistema con la capacidad de personal asistencial es capaz de atender la demanda de la población clasificada como resucitación y emergente.

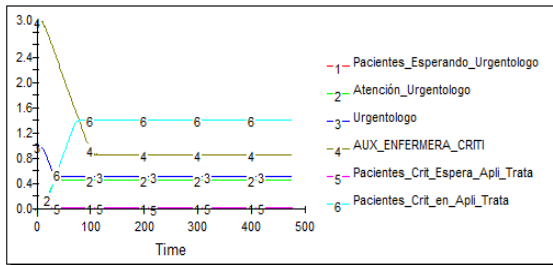


Figura 8. Pacientes esperando ser valorados por el urgentólogo (rojo), pacientes siendo atendidos por urgentólogo (verde), disponibilidad urgentólogo (azul oscuro), disponibilidad auxiliar de enfermería (gris), pacientes críticos esperando la aplicación del tratamiento (rosado), y pacientes en tratamiento (azul claro).

Sin embargo, después de una valoración, atención inicial y estabilización de los pacientes críticos, estos demandan una atención más especializada, donde los mismos son remitidos a otros departamentos del hospital como lo son los pisos quirúrgicos (Cirugía y Ortopedia) y los pisos no quirúrgicos (UCI, UCE y Hospitalización o Medicina Interna) o son internados en la sala de observación.

Las **Figuras 9 y 10** permiten observar que si la recepción de estos pacientes críticos por las otras instancias hospitalarias es en un tiempo considerablemente corto (5 minutos para sala de observación, porque es una instancia ubicada dentro del mismo urgencias, y 30 minutos para otras dependencias del hospital) el funcionamiento del sistema no se ve alterado y los pacientes fluyen por el servicio de una manera eficiente.

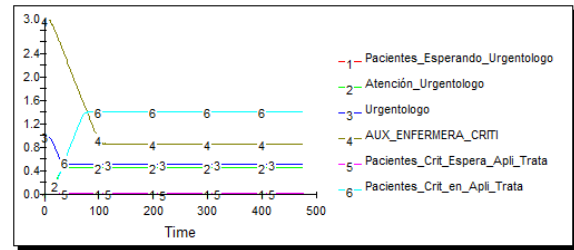


Figura 9. Pacientes esperando ser valorados por el urgentólogo (rojo), pacientes siendo atendidos por urgentólogo (verde), disponibilidad urgentólogo (azul oscuro), disponibilidad auxiliar de enfermería (gris), pacientes críticos esperando la aplicación del tratamiento (rosado), y pacientes en tratamiento (azul claro).

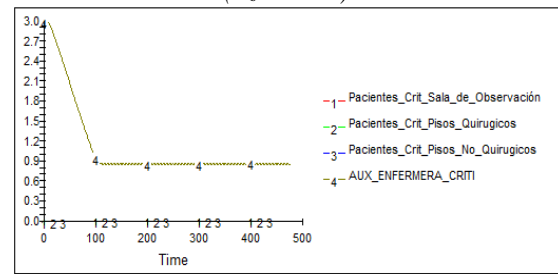


Figura 10. Pacientes esperando ser trasladados a pisos o Sala de Observación (rojo, verde y azul) y disponibilidad de auxiliares de enfermería (gris).

Sin embargo, en la práctica la recepción de los pacientes urgentes en otras instancias hospitalarias (pisos quirúrgicos y pisos no quirúrgicos), no es tan inmediata debido a la falta de disponibilidad de cama, quirófanos, o personal especializado en caso quirúrgico. Dichos tiempos pueden superar la hora para el caso de traslados a pisos quirúrgicos y hasta las dos horas o más para el caso de traslados a pisos no quirúrgicos. Adicionalmente, al no tener una cama disponible en pisos quirúrgicos, los pacientes prolongan su estancia en Salas de Observación, Urgencias, limitando también la disponibilidad de esta sala y afectando la estabilidad del sistema como tal.

La **Figura 11** permite observar cómo la saturación de los pacientes en el servicio de urgencias, debido a la falta de fluidez de los pacientes por el sistema, demanda más disponibilidad de recursos humanos, (personal asistencial) generando de esta forma tiempos de espera prolongados para que los pacientes críticos sean atendidos, disminuyendo así la oportunidad de atención de los pacientes y aumentando de la misma forma las complicaciones de los pacientes y la probabilidad de morir.

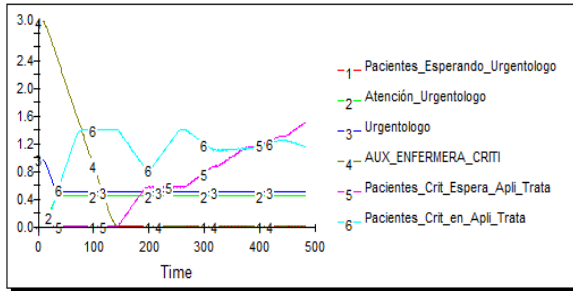


Figura 11. Pacientes esperando ser valorados por el urólogo (rojo), pacientes siendo atendidos por urólogo (verde), disponibilidad urólogo (azul oscuro), disponibilidad auxiliar de enfermería (gris), pacientes críticos esperando la aplicación del tratamiento (rosado), y pacientes en tratamiento (azul claro).

De la misma forma, se evaluó la capacidad del servicio para valorar y atender a los demás pacientes que ingresan al servicio de urgencias (emergentes, urgentes, urgencias diferidas y no urgentes), cuya valoración inicial la hace un medico general.

Se puede observar que con tres médicos generales disponibles las 24 horas el servicio está en la capacidad de dar una atención oportuna, como se puede ver la **Figura 12**.

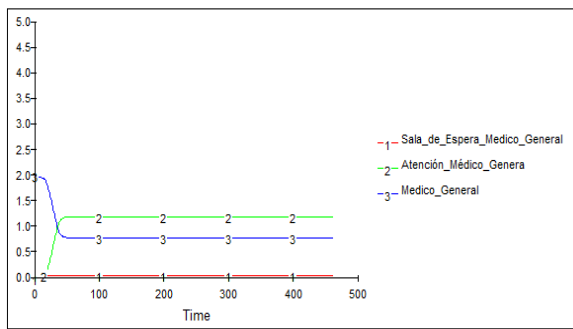


Figura 12. Disponibilidad de médico general (azul), Pacientes esperando para ser evaluados por el médico general (rojo) y pacientes siendo atendido por el médico general (verde).

Es importante tener en cuenta que la clasificación de los pacientes en triage se realiza con el objetivo de darles prioridad en la atención a los pacientes con mayor gravedad, es por esto que los médicos generales disponibles se asignan teniendo en cuenta la clasificación de los pacientes, como se puede observar en la **Figura 13**.

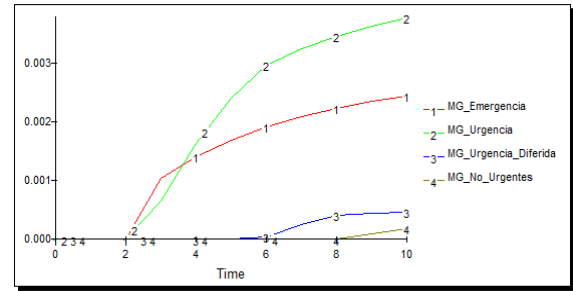


Figura 13. Flujo de pacientes para ser valorados y atendidos por el médico general según su clasificación: Pacientes emergentes (rojo), pacientes urgentes (verde), pacientes de urgencia diferida (azul) y pacientes no urgentes (gris).

Una vez los pacientes son valorados por el médico general o médico urólogo, éstos, dependiendo de la condición del paciente, mandan aplicación de tratamiento, solicitan valoración por especialista según el diagnóstico del paciente o solicitan ayudas diagnósticas o exámenes clínicos.

Para que se inicie la aplicación de tratamientos, primero las enfermeras jefes deben ingresar al paciente en el sistema y programar a las auxiliares de enfermería para la atención y la aplicación de tratamiento a los pacientes, para ello, éstas deben hacer la solicitud de insumos a la farmacia, una vez llegan los insumos de la farmacia se inicia el tratamiento y el inicio de procedimientos asistenciales. La **Figura 14** permite evidenciar cómo a la recepción de los pacientes urgentes todo el sistema fluye sin ningún problema, pero a medida que los pacientes alargan su estadía en el servicio de urgencias, debido a la poca fluidez e interacción con servicios de apoyo como las ayudas diagnósticas, el laboratorio clínico, las interconsultas (revisión por especialista) o los demás departamentos de atención especializada (UCI, UCE, Hospitalización y Cirugía), se va creando una saturación en el servicio que demanda la disponibilidad de personal asistencial, generando tiempos de espera largos para los pacientes y poca oportunidad en la atención.

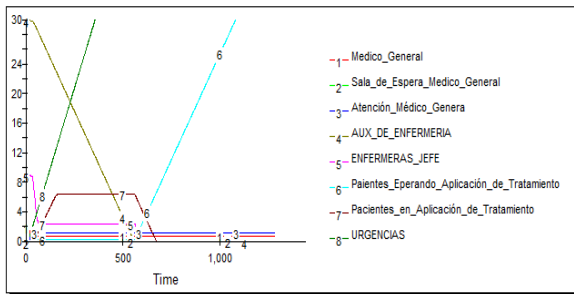


Figura 14. Disponibilidad de médico general (rojo), Pacientes esperando para ser evaluados por el médico general (verde) y pacientes siendo atendidos por el médico general (azul) Disponibilidad de auxiliar de enfermería (gris), disponibilidad de enfermeras jefes (morado), pacientes esperando por aplicación de tratamientos (azul claro), pacientes en aplicación de tratamiento (café) y pacientes en urgencias (verde oscuro).

Lo anterior es un sustento a la hipótesis dinámica planteada: “Un hospital en su conjunto funciona como un sistema, el cual está compuesto por varios sub-sistemas: UCI, Hospitalización, Departamento de Cirugía, Servicio de Urgencias, etc., que interactúan entre sí en forma dinámica, donde si una de las partes deja de funcionar o no tiene una sinergia con el conjunto, el sistema comienza a presentar conflictos”.

De igual forma, lo anterior es una de las causas que generan los colapsos en los servicios de urgencias y que fue enunciada en el planteamiento del problema: “los departamentos de urgencias presentan cuellos de botella dentro de su funcionamiento y entran en colapso no sólo por la demanda creciente de pacientes, sino también por la interacción de este servicio con otros servicios o departamentos del hospital”.

4. CONCLUSIONES Y ESTUDIOS FUTUROS

Las políticas establecidas por los gobiernos, las cuales recogen las demandas sociales en los primeros servicios de urgencia, han generado que el funcionamiento del sistema no cumpla en primera instancia su misión fundamental: dar atención inmediata y oportuna a pacientes urgentes, haciendo que en muchos casos dicha disponibilidad de recursos y tiempo sea demandado por pacientes no urgentes.

Las causas de la saturación desproporcionada de los servicios de urgencias, que en algunos casos los han llevado a colapsos y a la insatisfacción de los

usuarios, es en gran medida por el flujo de pacientes dentro de dicho servicio; donde, dicho flujo depende de la sinergia e interacción entre los sistemas. Es por esto que a futuro se plantea el estudio de la interacción del servicio de urgencias con otros departamentos del hospital (UCI, UCE, Cirugía y Hospitalización) y servicios auxiliares como los son Ayudas Diagnósticas y Laboratorio Clínico.

5. REFERENCIAS

- [1] CASTAÑO VÁSQUEZ, A. Propuesta para la reorganización de la prestación de los servicios de urgencias en el distrito capital: Atención pre-hospitalaria, intrahospitalaria y sistema de referencia y contrarreferencia. Bogotá, D.C, Available: http://190.25.230.149:8080/dspace/bitstream/123456789/182/1/REORGANIZACIÓN_URGENCIA_S_DC.pdf. [Citado 2008]
- [2] GARCÍA ALVARADO, R.; BAESLER ABUFARDE, F.; RODRÍGUEZ MORENO, P. y PEZO BRAVO, M. Urgencias Hospitalarias: Análisis del diseño y gestión de servicios de emergencias hospitalaria en Chile. *Theoria*, Universidad de Bío-Bío, Vol. 12, 2003, pp. 9-20.
- [3] PÉREZ ADAD, S.; POBLETE TRONCOSO, C.; PUGH OLAVARRÍA, K. Optimización del flujo de pacientes en un servicio de urgencia. Universidad Europea de Madrid. Escuela de Negocios. Instituto Salud y Futuro. Operaciones en empresas de salud, Módulo II, MBA Especialización en Salud.
- [4] TROUP, S. B. y VAN, R. W. Hospital Emergency Services: Modeling a Dynamic Systems. Master of Science, Massachusetts Institute of Technology, 1972.
- [5] MUÑOZ LÓPEZ, O. L. Urgencias en Medellín: Colapso anunciado. *El Pulso*, Vol. 10, N° 107, Medellín, 2007.
- [6] Impact of financial crisis on health: a truly global solution is needed. World Health Organization. 2009. Available: http://www.who.int/mediacentre/news/statements/2009/financiacrisis_20090401/en/index.html [Citado el 23 de marzo del 2010]
- [7] BEATRIZ, M. G. Características del sector hospitalario. CNCT. Available:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Estudios/Proyectos/Finalizados/En_Colaboracion/Innoflex/P_BMurillo.pdf> [Citado el 11 de abril del 2010]

[8] SAENZ, Luis. Modernización de la gestión hospitalaria colombiana: Lecciones aprendidas de la transformación de los hospitales en Empresas Sociales del Estado, 2001.

[9] LÓPEZ LÓPEZ, I. D., URREA ARBELÁEZ, J. y NAVARRO CASTAÑO, D. Aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) a la gestión de facturación de las Empresas Sociales del Estado, ESE. Una contribución al Sistema de Seguridad Social en Colombia. INNOVAR, Escuela de Administración de Empresas y Contaduría Pública. Universidad Nacional de Colombia, 2010.

[10] ARDILA, S.; JIMÉNEZ, A. M.; VELASCO, N.; AMAYA, C. A. Revisión de procesos para la asignación de camas a pacientes provenientes de urgencias en un hospital privado de Bogotá. Universidad de los Andes, 2008.

[11] SEUNG-CHUL, K.; IRA HOROWITZ, KARL K. YOUNG, THOMAS A. BUCKLEY. Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital. *European journal of operational research*, el silve. Vol. 115 (1999) 36±46, 1999.

[12] KOLB, E. M.; LEE, T.; PECK, J. Effect of coupling between emergency department and inpatient unit on the overcrowding in emergency department. Mit park center for complex systems, Massachusetts Institute of Technology. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference.

[13] PECK, J. S. Securing the safety net: applying manufacturing systems methods to wards understanding and redesigning a hospital emergency department. Massachusetts Institute of Technology, requirements for the degree of master of science in technology and policy, 2008.

[14] LITVAK, Nelly; VAN RIJSBERGEN, Marleen; RICHARD, J.; BOUCHERIE VAN HOUDENHOVEN, Mark. Managing the overflow of intensive care patients. *European journal of operational research* 185 998–1010, 2008.

[15] KOKANGUL, Ali. A combination of deterministic and stochastic approaches to optimize bed capacity in a hospital unit. *computer methods and programs in biomedicine* 90, 56–65, 2008.

[16] KIM, Seung-chul; HOROWITZ, Ira; YOUNG, Karl K.; BUCKLEY THOMAS, A. Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital. *European journal of operational research* 115, el silve, 36±46, 1999.

[17] KIM, Seung-Chul; HOROWITZ, Ira; YOUNG, Karl K.; BUCKLEY, Thomas A. Flexible bed allocation and performance in the intensive care unit. *Journal of Operations Management* 18, 427–443, 2000.

[18] JACOBSON, S.; HALL, S.; SWISHER, J. Discrete event simulation of health care systems, in: delay management in healthcare systems, hall r. Springer in health care management, 2006.

[19] BAGUST, A.; PLACE, M.; POSNETT, J. W. Dynamics of bed use in accommodating emergency admissions: stochastic simulation model, *br. med. j.* 319 155–158, 1999.

[20] ROMANIN-JACUR, G.; FACCHIN, P. Optimal planning of a pediatric semi-intensive care unit via simulation, *Eur. J. Oper. res.* 29, 192–198, 1987.

[21] HERSHEY, J. C.; WEISS, E. N.; COHEN, M. A. A stochastic service network model with application to hospital facilities, *Oper. res.* 29, 1–22, 1981.

[22] MCMANUS, M.; LONG, M.; COOPER, A.; LITVAK, E., Queuing theory need for critical care resources, *anesthesiology* 100 (2004) 1271–1276.

[23] COCHRAN, J. K.; BHARTI, A. A multi-stage stochastic methodology for whole hospital bed planning under peak loading, *int. j. ind. syst. eng.* 1 (2006) 8–36.

[24] COCHRAN, J. K.; BHARTI, A. Stochastic bed balancing of an obstetrics hospital, *health care manage. syst.* 9 (2006) 31–45.

[25] AKCALI, E. M.; COTE, J.; LIN, C.-I. Anetwork flow approach to optimizing hospital

bed capacity decisions, health care manage. sci. 9 (2006) 391–404.

[26] DENTON, B.; VIAPIANO, J., & VOGL, A. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *health care manage sci* (10), 13-24, 2007.

[27] CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. Operating room planning and scheduling: a literature review. *katholieke universiteit leuven, department of decision sciences and information. leuven, belgium: faculty of business and economics. European journal of operational research* 201 (2010) 921–932.

[28] JIMÉNEZ, A. M.; VELASCO, N. y AMAYA, C. Estrategias de programación de salas de cirugía. Un caso de aplicación en un hospital de Bogotá. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia, 2008.

[29] LAMIR, M.; GRIMAUD, F.; XIE, X. Optimization methods for stochastic surgery planning problem. *int. j. production economics* 120 (2009) 400–410.

[30] I.J.B.F. Adan, J.M.H. Vissers. Patient mix optimisation in hospital admission planning: a case study, *international journal of operations and production management* 22 (4) (2002) 445–461.

[31] LANE, D. C.; MONEFELDT, C. and ROSENHEAD, J. V. looking in the wrong place

for healthcare improvements: a system dynamics study of an accident and emergency department. *The journal of the operational research society*, vol. 51, no. 5, pp. 518-531, 2000.

[32] Unidad de urgencias hospitalarias, estándares y recomendaciones. Informes, estudios e investigación, Ministerio de Sanidad y Política Social. Available: <http://www.msc.es/organizacion/sns/plancalidades/docs/uuh.pdf>. [Citado en el 2010].

[33] Salud: México 2004, Secretaria de Salud. Available: <http://www.mex.ops-oms.org/documentos/perfil/salud2004.pdf>

[34] GONZÁLEZ, M. E. Calidad de la atención en el servicio de urgencias del área de salud Heredia Cubujuquí, desde la perspectiva del cliente. San José de Costa Rica, 2008.

[35] GÓMEZ, E. L. Colombia: colapsó el servicio de urgencias en Bogotá por avalancha de pacientes. *El Tiempo*, 2007. Available: <http://troponina.com/?p=28>

[36] Mendelhoff. Brain trauma foundation, 1991.

[37] ESTRADA ARREDONDO, L. M. Identificación de tiempos de atención del servicio de urgencias para adultos de la IPS Universitaria, sede Clínica León XIII. Informe de práctica, Universidad de Antioquia, Facultad Nacional de Salud Pública: Héctor Abad Gómez, Medellín, 2010.

Programación de una rutina de dieta alimenticia y ejercicio físico monitoreado aplicando Dinámica de Sistemas

Scheduling a diet and exercise routine monitored using System Dynamics

Ing. MSc. (c) Mauricio Becerra F., Ing. MSc. Javier A. Orjuela C., e Ing. MSc. (c) Olga R. Romero Q.
Maestría en Ingeniería Industrial – Universidad Distrital Francisco José de Caldas
mauriciobecerrafernandez@gmail.com, jorjuela@etb.net.co, olgarosana@gmail.com

Resumen: Este artículo busca describir, analizar y comparar el uso de la Dinámica de Sistemas como metodología para la solución de problemas de configuración de rutinas de dieta alimenticia y desarrollo de ejercicio físico monitoreado. Los procedimientos facilitan la búsqueda de soluciones factibles o cercanas al óptimo evaluado, encontrados en la literatura; el problema es la relación de la función de peso asociada al tiempo de consumo, cantidad de alimento, tipo de alimento y veces de consumo, estableciendo la rutina de alimentos controlada científicamente sin afectar la salud del paciente, al cual se le va a aplicar la prueba y su respectivo control y seguimiento. A esta rutina se suma el ejercicio físico monitoreado que complementa el proceso de control del peso y hace que éste empiece a bajar hasta alcanzar el deseado en el tiempo estimado.

En consecuencia, la Dinámica de Sistemas tiene ventaja bajo otros métodos analíticos de control y seguimiento en función de la calidad de soluciones y rapidez computacional.

Palabras Clave: Dinámica de Sistemas, dieta, control, monitoreo.

Abstract: This article shows to describe, analyze and to compare use of Dynamics of Systems like methodologies are to solve problem of configuration of routines diet nutritional. The procedure can easily find feasible or near optimal solutions for benchmark test problems from the literature. The problem relation the function's weight associate to time and the routine food established scientifically without affecting the health of the patient to who it is going away to apply to the test and its respective control and pursuit to him.

Therefore, the Dynamics of Systems has advantage under over analytical methods of control and pursuit based on the quality methods in both solution quality and computation speed.

Key words: Dynamics of Systems, diet, control, monitored.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del modelo consiste en estudiar el problema de la reducción de peso de una persona, diseñado a partir de Dinámica de Sistemas. Se ejemplifica en el paso de un peso inicial de 120 kilogramos hasta un peso de 80 kilogramos en un plazo no mayor a doce meses. Las acciones que se permiten para lograr dicha reducción consisten en el cambio de los hábitos alimenticios (dieta) y de sedentarismo (rutina de ejercicios), no se permiten intervenciones tales como cirugías, tampoco se permiten procedimientos no convencionales que no sigan conductas científicas.

2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

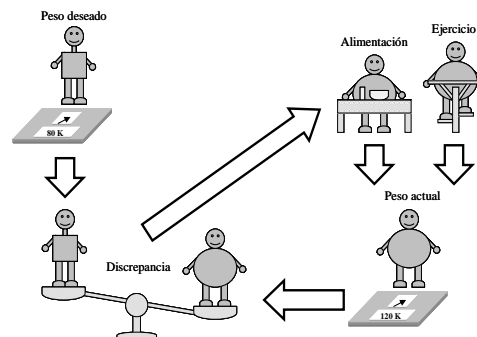


Figura 1. Diagrama básico del proceso

2.1 DISEÑO DE LA DIETA

La dieta fue diseñada empleando la información mostrada en la tabla 1 para la definición del perfil de la persona:

Tabla 1. Estado nutricional

Ítem	Descripción
Estatura	180 Centímetros
Edad	30 Años
Sexo	Masculino
Peso actual	120 Kilogramos
Cadera	176 Centímetros
Cintura	183 Centímetros
Contextura	Mediana
Deportes	No practica deportes
Actividad	Trabaja en una oficina, estudia o está en su casa
Alimentación	Come todo tipo de alimentos sin seguir una dieta definida
Enfermedades y cirugías	No manifiesta enfermedades diagnosticadas ni cirugías realizadas

2.1.1 Necesidades diarias del organismo a nivel nutricional

Las proporciones porcentuales de los diferentes substratos de acuerdo con la ingestión diaria de calorías se pueden considerar de la tabla 2:

Tabla 2. Proporciones porcentuales

Hidratos de Carbono	entre	50% y 60%
Proteínas	entre	15% y 20%
Grasas	entre	15% y 30%

Estas proporciones van de acuerdo al tipo de actividad desarrollada cotidianamente por la persona, su estado de salud y otros factores. A esto se deben sumar los requerimientos diarios de vitaminas y minerales.

2.1.2 Requerimientos diarios de vitaminas y minerales

Los valores indicados son aproximados y promediados de varias tablas nutricionales y están propuestos para un peso determinado como nivel. Estos valores varían con la edad, enfermedades, estados biológicos (embarazo y lactancia) y deficiencias nutricionales. Así mismo, en esta tabla no se mencionan todos los minerales, que aunque por su proporción en el cuerpo parezcan ínfimos, afectan al correcto funcionamiento del mismo. Los requerimientos de minerales para una persona según las características presentadas en la tabla 3.

Tabla 3. Posibles características del individuo a ser modelado

Ítem	Descripción
Índice de Masa Corporal (BMI)	37,04
Obesidad clase	2
Límite inferior peso ideal	69,66 Kilogramos
Límite superior peso ideal	79,77 Kilogramos
Consumo actual de calorías (para mantener peso)	2.725,2 Kilocalorías
Peso ideal	76,1 Kilogramos
Peso deseable (afectado por la edad y el peso actual)	81,426 Kilogramos
Reducción de peso	38,574 Kilogramos
Coefficiente de obesidad	1,04

2.2 DEFINICIÓN DE EJERCICIO O ACTIVIDAD FÍSICA PROGRAMA POR RUTINA

La vida sedentaria, dado obligaciones diarias que no permiten la práctica de alguna actividad deportiva, puede ser contrastada aunque en menor medida aprovechando cualquier situación cotidiana que permita estar más tiempo en movimiento, subir escaleras, ir andando (a pie) al trabajo, o dar uso a ciertos aparatos (cinta, bicicleta estática, etc.) instalados en casa que cumplen función de mecanismos de ejercicio.

El ejercicio pone en movimiento al cuerpo en su totalidad o a una parte del mismo, de manera armónica y ordenada, en beneficio del desarrollo y conservación de sus funciones.

Dentro del concepto de salud, el ejercicio físico medicado cumple un rol fundamental, ya que al practicarlo de manera cotidiana, aumenta la vitalidad en general y reduce la posibilidad de padecer enfermedades y ayuda a controlar el peso.

2.3 OBJETIVO NUTRICIONAL Y DE EJERCICIO FÍSICO

Para el desarrollo del modelo se definió que mientras el individuo tuviera una discrepancia positiva (discrepancia es la diferencia entre el peso actual y el peso deseado) reduciría y el consumo de kilocalorías por medio de una dieta balanceada y aumentaría la intensidad del ejercicio físico, por el contrario, si dicha discrepancia es menor o igual a cero, el individuo consumiría las kilocalorías demandadas por el metabolismo basal para el desarrollo de sus actividades diarias, y reduciría la intensidad del ejercicio físico, manteniendo estable de esta forma el balance energético o calórico.

La reducción diaria suministrada por la dieta semanal básica, diseñada para la reducción de peso para hombres con gran sobrepeso, está en el orden de las 1.675,08 kilocalorías para tiempo normal y 1.500 kilocalorías para obtener resultados en menor tiempo como se muestra en la figura 2.

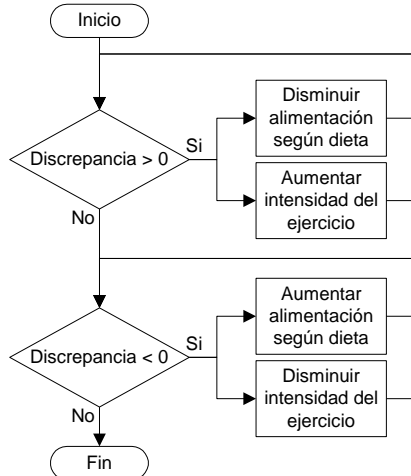


Figura 2. Flujograma del modelo

Para reducir peso al individuo, se busca tener un balance calórico o energético negativo, es decir, el consumo total de calorías debe ser menor a las gastadas por el cuerpo en el desarrollo de las actividades diarias. Se debe tener en cuenta que la

realización de una dieta balanceada de acuerdo con el perfil de dicho individuo, garantizaría la reducción de grasa sin afectar el estado nutricional. La descripción del proceso se puede reducir a los siguientes enunciados:

3. MODELO

En la tabla 4 se presentan los parámetros del modelo.

Tabla 4. Parámetros del modelo

Nombre	Descripción	Tipo
PA	Peso Actual	Variable de Nivel
KA	Kilogramos Alimentación	Variable de Flujo
KE	Kilogramos Ejercicio	
KM	Kilogramos Metabolismo	
DI	Discrepancia	Variable Auxiliar
KCA	Kilocalorías Alimentación	
KCE	Kilocalorías Ejercicio	
KCM	Kilocalorías Metabolismo Basal	
PD	Peso Deseado	Constante
KCD	Kilocalorías Dieta	
KCR	Kilocalorías Rutina	
KCK	Kilocalorías por Kilogramo	
KPGK	Kilogramos Perdidos o Ganados por Kilocaloría	

En la tabla 5 se presentan las variables no afectadas por políticas.

Tabla 5. Valor de las constantes no afectadas por políticas

Nombre	Descripción	Valor	Unidad de medida	Definición
PD	Peso Deseado	80	Kilogramo	Objetivo de reducción
KCK	Kilocalorías por Kilogramo	24	Kilocalorías	Kilocalorías necesarias para mantener el funcionamiento de las funciones vitales por cada kilogramo de peso
KPGK	Kilogramos Perdidos o Ganados por Kilocaloría	0,000129	Kilogramos por Kilocaloría	Se estima que por cada 3.500 kilocalorías consumidas o gastadas se ganan o se pierden respectivamente 450 gramos de peso

3.1 RELACIONES QUE FORMAN LA DESCRIPCIÓN VERBAL Y LAS ECUACIONES DEL MODELO

Las reglas de retroalimentación son:

- **R1:** si la discrepancia aumenta, se controla la alimentación mediante una dieta de tal manera que se disminuya el consumo de kilocalorías;
- **R2:** adicionalmente, si dicha discrepancia aumenta, se gastan kilocalorías mediante la realización de una rutina de ejercicio físico; y,
- **R3:** por otra parte, si el peso actual aumenta, igualmente lo hará la cantidad de kilocalorías requeridas por el metabolismo basal del individuo para el desarrollo normal de sus actividades.

Lo anterior genera las siguientes relaciones de influencia:

$$\begin{aligned}
 R1: & \quad DI \xrightarrow{-} KCA \\
 R2: & \quad DI \xrightarrow{+} KCE \\
 R3: & \quad PA \xrightarrow{+} KCM
 \end{aligned}$$

$$R1 (1) \quad KCA = \begin{cases} KCD, & DI > 0 \\ PA * KCK, & \text{otro caso} \end{cases}$$

$$R2 (2) \quad KCE = \begin{cases} KCR, & DI > 0 \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases}$$

$$R3 (3) \quad KCM = PA * KCK$$

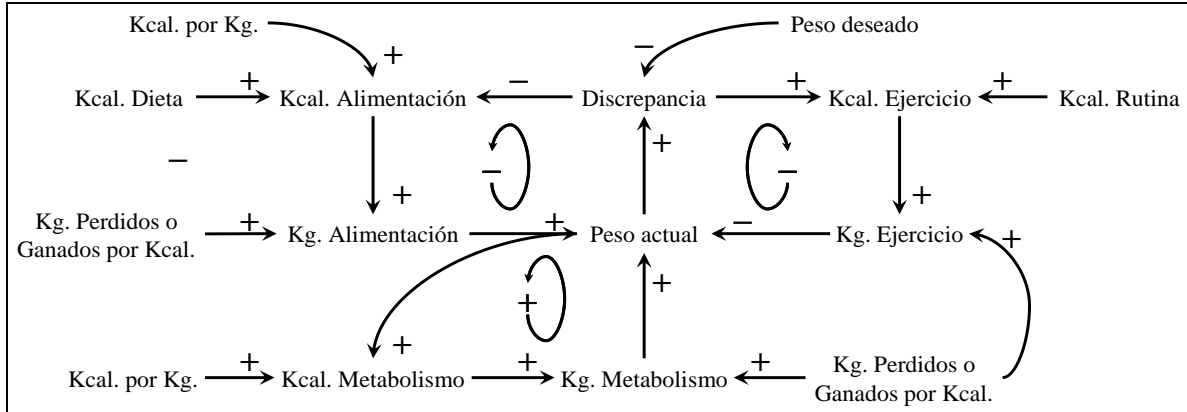


Figura 3. Diagrama de influencia o causal

En la figura 4 se presenta el diagrama de Forrester desarrollado con Vensim, en el anexo 1 se presentan las ecuaciones del modelo.

La simulación del modelo se realizó empleando el software Vensim® PLE for Windows Versión 5.5 figura 5.

Observando el comportamiento de la variable de nivel Peso Actual, se encuentra que el modelo es coherente con respecto al objetivo de la reducción de peso del individuo en el tiempo establecido de un año, o lo que es lo mismo, 365 días (ver figura 6).

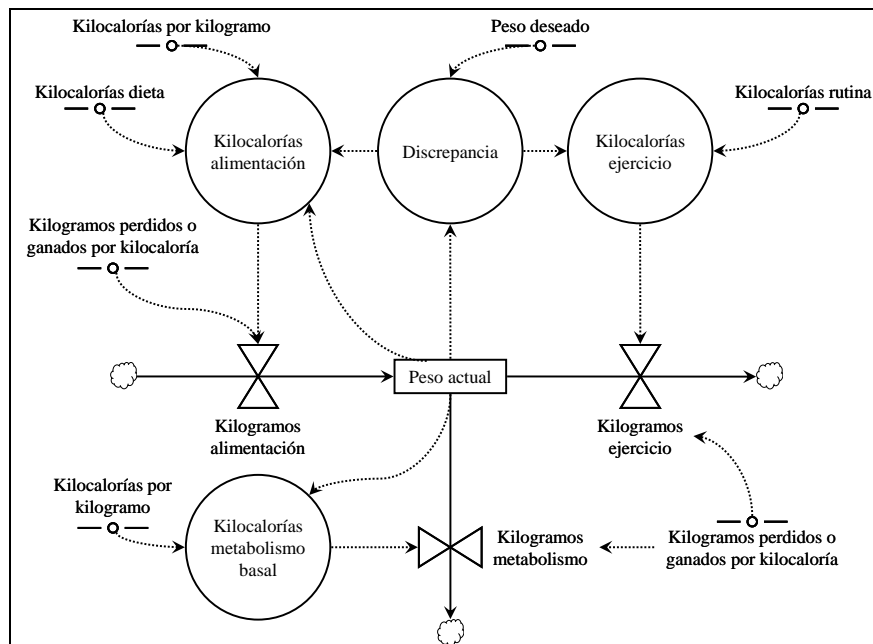


Figura 4. Diagrama de Forrester o de flujos-niveles

3.2 POLÍTICAS DEL MODELO

Para el modelo se definieron tres políticas con base en lo siguiente:

- Kilocalorías consumidas por medio de la alimentación variando la dieta sin afectar el estado nutricional del individuo.
- Kilocalorías gastadas por medio del ejercicio físico variando el tipo de actividad deportiva o la rutina realizada.

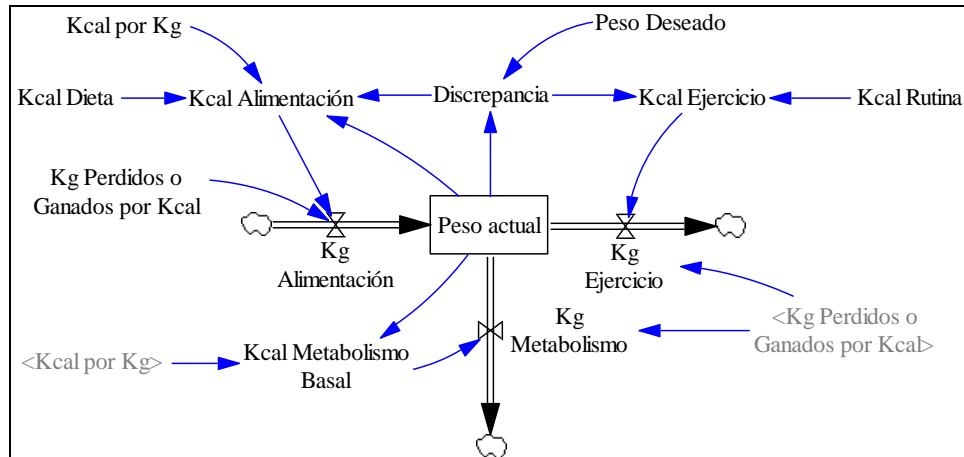


Figura 5. Diseño en Vensim

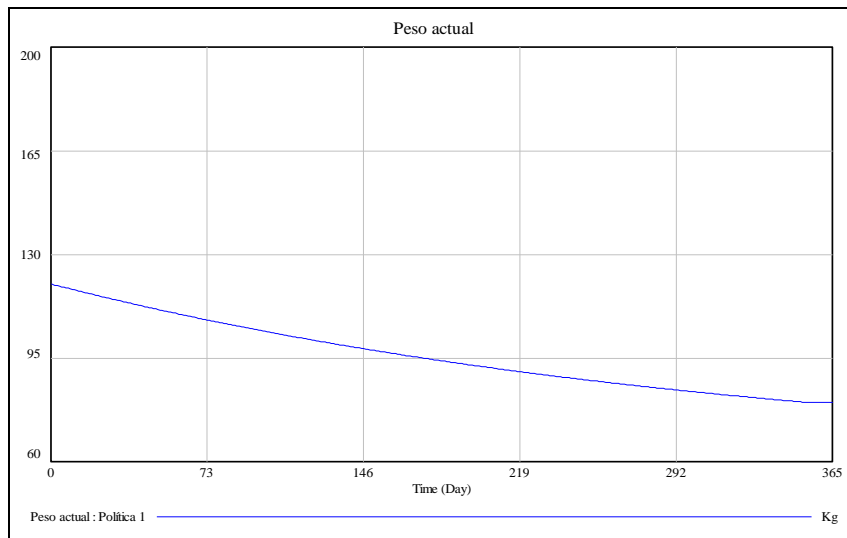


Figura 6. Peso con respecto al tiempo

Tabla 8. Políticas del modelo

Política	Descripción	Kilocalorías alimentación	Kilocalorías ejercicio	Días en los que se alcanza el peso deseado	Kilogramos alcanzado en 365 días
1	Dieta de reducción en tiempo normal para personas con gran sobrepeso y realizando 2 horas diarias de bicicleta a una velocidad promedio de 10 Km por hora hasta alcanzar el peso deseado	1675,08	240	354	79,9555
2	Dieta de reducción rápida para personas con gran sobrepeso y realizando 2 horas diarias de bicicleta a una velocidad promedio de 10 Km por hora hasta alcanzar el peso deseado	1500,00	240	291	79,9619
3	Dieta de reducción rápida para personas con gran sobrepeso y no realizando ningún tipo de ejercicio	1500,00	0	385	81,1112

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa (figura 7) que mediante el uso de las dos primeras políticas seleccionadas se logra el objetivo de peso de 80 kilogramos en 365 días, ya que se acompaña una dieta balanceada con el desarrollo de una actividad física. En el caso de la tercera política aunque se seleccionó una dieta de reducción rápida, no se logra el peso deseado sino hasta después de 385 días, pero sin embargo el peso que se alcanza en el límite de tiempo establecido es de aproximadamente 81 kilogramos, lo que es muy cercano al objetivo establecido. Con base en lo anterior se podría someter al individuo a la política 1, ya que contempla una dieta con mayores calorías y una actividad física que puede aportar en el mantenimiento del buen estado general de salud.

El modelo diseñado podría servir para controlar la dieta de la persona de 120 kilos, es apropiado y

cumple con el objetivo y las políticas planteadas en el problema.

Para el día 360 la persona alcanza el peso ideal y automáticamente asume la política de controlar su peso vía dieta y disminuye el ejercicio físico, aunque se puede plantear una política contraria donde prevalezca el ejercicio y la dieta sea la que pare.

Por otro lado, se puede plantear una política combinada donde la proporción de la dieta y ejercicio físico sean proporcionales para controlar el peso.

La figura 6 demuestra el comportamiento de la validación del modelo por medio de software y se analiza que el peso llega a su nivel deseado de 80 kilos en el día 360 de la rutina de dieta y ejercicio programada.

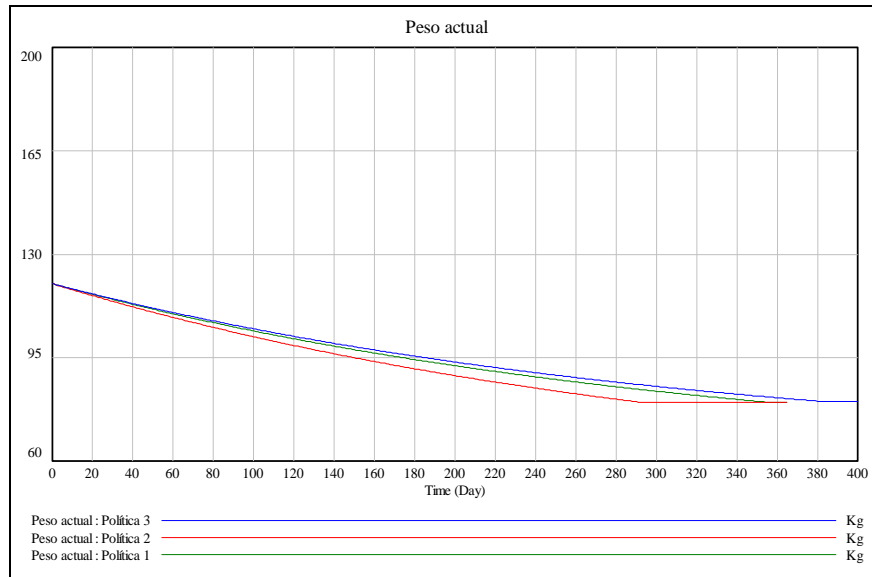


Figura 7. Comparación de políticas

5. CONCLUSIONES

La Dinámica de Sistemas permitió diseñar, monitorear y realizar seguimiento al caso modelo, para controlar el peso de una persona, llevándola de un estado actual de sobrepeso de 120 kilos a un estado futuro en un año de 80 kilos.

Para el desarrollo del caso es importante tener en cuenta la teoría alrededor del tema, por ejemplo la equivalencia de calorías y su relación con la masa-peso corporal, la tabla de alimentos y el índice de calorías por cada uno de ellos, la frecuencia de consumo de alimento y de ejercicio, que alimenta la

discrepancia y permite nivelar el peso en un determinado $d(t)$.

5. REFERENCIAS

5.1 REFERENCIAS DE LIBROS

- [1] ARACIL Santoja, Javier: Introducción a la Dinámica de Sistemas. Editorial Alianza, Madrid, 1986.
- [2] FORRESTER Jay, W: Dinámica Industrial. Editorial Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- [3] GORDON. Geoffrey: Simulación de Sistemas. Editorial Diana, Sexta Edición, México, 1991.

[4] MANUAL, de Vensim: User's Guide Versión 1.62. Ventana Sitemns 1995.

[5] JAY W., Forrester: Principles of Systems. Text and Workbook. MIT Press/Wright-Allen, 1968.

6. CURRÍCULUM

Mauricio Becerra Fernández: Docente Universidad Católica de Colombia y Universidad Piloto de Colombia. Aspirante al título de Magister en Ingeniería Industrial. Ingeniero de Producción. Tecnólogo Industrial. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (Bogotá – Colombia).

Javier Arturo Orjuela Castro: Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Investigación de Operaciones y Estadística. Especialista en Ingeniería de Producción. Ingeniero Industrial. Ingeniero de Alimentos. (Bogotá – Colombia).

Olga Rosana Romero Quiroga: Ingeniera de Logística Almagran-Almacén S.A. Aspirante al título de Magister en Ingeniería Industrial. Ingeniero de Producción. Tecnólogo Industrial. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (Bogotá – Colombia).

ANEXO 1 – Ecuaciones del modelo

- Ecuación de nivel o de estado (3):

$$PA(t + \Delta t) = PA(t) + \Delta t * KA - \Delta t * KM - \Delta t * KE$$

- Ecuación de nivel o de estado [notación diferencial (4)]:

$$\frac{dPA}{dt} = KA - KM - KE$$

- Ecuación de flujo (Alimentación) (5):

$$KA = KPGK * KCA$$

- Ecuación de flujo (Ejercicio) (6):

$$KE = KPGK * KCE$$

- Ecuación de flujo (Metabolismo) (7):

$$KM = KPGK * KCM$$

- Ecuación Variable Auxiliar (Discrepancia) (8):

$$DI = PA - PD$$

- Ecuación Variable Auxiliar (Kilocalorías Alimentación, varía según política) (9):

$$KCA = \begin{cases} KCD, & DI > 0 \\ PA * KCK, & \text{otro caso} \end{cases}$$

- Ecuación Variable Auxiliar (Kilocalorías Metabolismo) (10):

$$KCM = PA * KCK$$

- Ecuación Variable Auxiliar (Kilocalorías Ejercicio, varía según política) (11):

$$KCE = \begin{cases} KCR, & DI > 0 \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases}$$

ENERGÍA

La integración eléctrica SIEPAC – CAN Un análisis con el apoyo de DS

¹María Camila Ochoa, MSc., ²Carlos Jaime Franco, PhD., ³Isaac Dwyer, PhD.
¹Universidad de Lausanne, Suiza, ²³CeiBA, Universidad Nacional de Colombia, Medellín
¹MariaCamila.Ochoa@unil.ch, ²cjfranco@unal.edu.co, ³idyner@unal.edu.co

Resumen: Con el fin de analizar los posibles efectos de la integración de los mercados eléctricos de Panamá, Colombia, Ecuador y Perú, sobre la expansión de sus sistemas y la seguridad de suministro, se desarrolló un modelo de Dinámica de Sistemas acoplado a un algoritmo iterativo de despacho bajo el esquema Market Coupling.

El modelo permite analizar los posibles efectos de diferentes políticas sobre la evolución de la capacidad instalada en los cuatro países. Del análisis de políticas se concluye que la integración puede traer grandes beneficios en términos de confiabilidad del sistema y en cuanto al aprovechamiento de los recursos, permitiendo posiblemente abastecer la demanda con costos menores y por medio de tecnologías más limpias como la hidroeléctrica. No obstante, estos beneficios están altamente relacionados con aspectos políticos y de regulación, a los cuales se les debe dar especial importancia.

Palabras clave: integración de mercados eléctricos, simulación, Dinámica de Sistemas, market coupling.

Abstract: With the aim of analyzing the effects that electricity market integration between Panama, Colombia, Equator and Peru, may have over the systems expansion and security of supply, we developed a System Dynamics model linked to an iterative algorithm that simulates the dispatch under Market Coupling.

The model was used to analyze the effects of different policies over capacity evolution in the four countries, and we conclude that the integration of electricity markets may have great benefits regarding security of supply and an efficient use of resources, so that energy demand could be satisfied at lower costs and with cleaner technologies such as hydroelectricity. However, those benefits are highly conditioned to politic conditions, regulation and policies; aspects that should have special attention.

Key words: electricity market integration, simulation, System Dynamics, market coupling.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han firmado acuerdos para integrar los sistemas eléctricos de Panamá (que hace parte de SIEPAC – Centro América) y Colombia, lo cual involucra a través de Colombia, la integración de Ecuador y Perú que hacen parte de la CAN (Comunidad Andina). Estos arreglos permitirán realizar transacciones internacionales de electricidad entre los cuatro países.

El objetivo es alcanzar una mayor eficiencia y confiabilidad en el abastecimiento eléctrico en la región, lo cual se espera como consecuencia de la ampliación del mercado y una mayor competencia (Pierce, Michael Trebilcock, and Thomas 2006), así como el aprovechamiento de las complementariedades en cuanto a tecnologías de generación y recursos disponibles en los diferentes países.

Para el Séptimo Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas se presentó la primera versión de este trabajo: el artículo mal titulado “La Integración Eléctrica Panamá – CAN bajo el Esquema de Mercado Market Splitting”.

En el desarrollo de la investigación se logró hacer claridad en los términos Market Splitting y Market Coupling, comúnmente confundidos en la literatura, utilizados para referirse al esquema de subasta implícita que se utiliza en la actual integración Colombia – Ecuador y, dadas las características del sistema, se considera que el término adecuado es market coupling (para mayores detalles ver: (ETSO 1999)(OMEL 2005)(ETSO 2006)(APX 2007)(ERGEG 2007)(OMEL-EPEX 2009)(Nord Pool 2010)).

En dicho artículo se presentaron el marco teórico e ideas preliminares acerca del modelo por desarrollar. En esta versión se presentan una breve discusión del problema, la descripción del modelo desarrollado, un análisis de políticas y algunas conclusiones y recomendaciones.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA

Para realizar transacciones internacionales de electricidad debe definirse un esquema que permita aprovechar los beneficios de la integración, produciendo señales eficientes al mercado y que incentiven la cooperación de los agentes para expandir la red (Rudnick, H., & Zolezzi 2001).

Hay que tener en cuenta que el comportamiento de los precios de la electricidad está altamente relacionado con las reglas y la estructura del mercado (Wolak 1997), y a través de los precios se dan señales importantes, por ejemplo a la expansión de capacidad, por lo que se debe tener cuidado al elegir un esquema de mercado para la integración eléctrica, de manera que se obtengan los beneficios sin poner en peligro la sostenibilidad del sistema.

Debido a que las redes de interconexión eléctrica entre los países tienen una capacidad limitada, es común que se congestionen, es decir que su capacidad no sea suficiente para abastecer los requerimientos de todos los agentes del mercado a un mismo precio (Stoft 2002). Para estos casos deben acordarse reglas para adjudicar la capacidad disponible, de manera que se mantenga la estabilidad del sistema y se den las señales adecuadas al mercado.

Existen diversos métodos para adjudicar la capacidad de transmisión cuando existe congestión, entre ellos, para la integración SIEPAC – CAN se plantea como opción más probable la utilización del esquema Market Coupling (CAN 2002)(CAN 2009)(ASEP - CREG 2009) que es utilizado actualmente en la integración Colombia – Ecuador.

Sin embargo, existen opiniones encontradas acerca de su viabilidad (por el problema de circularidad que se introduce) y los beneficios de este esquema. Por lo tanto es importante analizar los efectos de largo plazo de la implementación de este mecanismo en la futura integración SIEPAC – CAN.

Según Stoft (Stoft 2002), la arquitectura del mercado se debe especificar antes que las reglas, sin embargo es necesario probar la arquitectura durante el proceso

de diseño, lo cual requiere la especificación de las reglas. Así mismo el diseño debe considerar la estructura del mercado, la cual puede inhibir el correcto funcionamiento de algunos diseños.

Lo anterior da una idea de interdependencia que sugiere la utilización de metodologías como la Dinámica de Sistemas, que permiten involucrar retroalimentación en los modelos para el apoyo en la toma de decisiones y el aprendizaje acerca del comportamiento de un sistema.

Se desarrolló entonces un modelo de Dinámica de Sistemas (que supera problemas de circularidad en las decisiones) para analizar la evolución a largo plazo de la capacidad instalada en los cuatro países, acoplado a un algoritmo iterativo que simula en cada periodo el despacho internacional, es decir las transacciones de electricidad entre los cuatro países, teniendo en cuenta las restricciones de la red y las reglas definidas en el Market Coupling.

3. MODELO

En la Figura 48 se presenta un esquema general del funcionamiento del modelo. El modelo de Dinámica de Sistemas arroja en cada período las entradas necesarias para el modelo de despacho: un despacho inicial sin tener en cuenta integración, las curvas de oferta de los cuatro países y la expansión de capacidad de transmisión; y el modelo de despacho le devuelve en cada período la información de precios y generación, para ser considerada en el proceso de expansión de la capacidad.

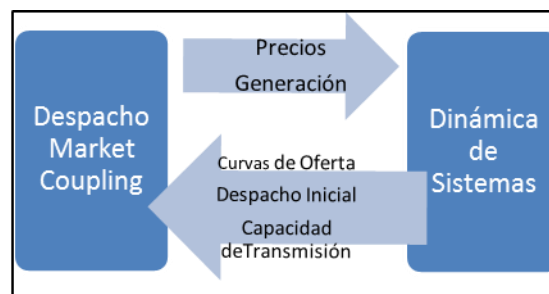


Figura 48. Acople del modelo

Además de los precios de los cuatro países, que se transmiten al modelo de Dinámica de Sistemas, el modelo de despacho arroja otros resultados, como los flujos entre los países, las rentas de congestión y la utilización de las redes.

El modelo de Dinámica de Sistemas fue desarrollado en Vensim y el de Despacho en Visual Basic para Excel. Ambos modelos se comunican en tiempo real

usando un protocolo DDE (Dynamic Data Exchange).

A continuación se describe el algoritmo de despacho, y posteriormente el modelo de Dinámica de Sistemas.

Modelo de despacho bajo Market Coupling

Cuando se utiliza Market Coupling entre dos o tres países interconectados en serie, el cálculo de los flujos de electricidad y los precios puede hacerse por medio de un modelo de optimización relativamente simple o, incluso, de forma analítica cruzando las curvas de oferta y demanda de los países (XM 2005).

Sin embargo, cuando se tienen cuatro países en serie, como en el caso de Perú, Ecuador, Colombia y Panamá, el sentido de los flujos no siempre puede determinarse de una manera tan simple, ya que los precios de los países no son independientes entre sí, por lo tanto el sentido del flujo entre dos países, depende de los flujos entre los demás (problema de circularidad).

Por esta razón se optó por desarrollar un modelo basado en reglas, que mediante un proceso iterativo encuentra los flujos entre los países y calcula los nuevos precios, teniendo en cuenta las transacciones internacionales, de acuerdo con las reglas del Market Coupling y las restricciones de las interconexiones. El algoritmo opera de la siguiente forma:



Figura 49. Esquema del funcionamiento del modelo de despacho

Este modelo debe ser alimentado con las curvas de oferta de los cuatro países y con un despacho inicial sin considerar las interconexiones entre los países.

Modelo de Dinámica de Sistemas

El modelo de largo plazo es un modelo de Dinámica de Sistemas que se alimenta en cada periodo con los resultados del modelo de despacho descrito anteriormente y simula la expansión del sistema en cada país. Para cada uno de los cuatro países se tiene un modelo idéntico estructuralmente, pero diferenciado en las condiciones iniciales, es decir en el estado actual de desarrollo de cada país.

En la Figura 50 se presenta el diagrama causal que describe la expansión de la capacidad de generación en un país. Se asume que la estructura es válida para cualquiera de los cuatro países involucrados en la integración SIEPAC – CAN.

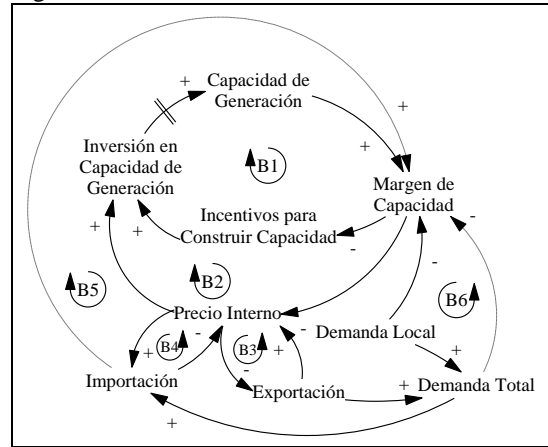


Figura 50. Diagrama causal: Expansión de capacidad de generación

Dependiendo de las políticas que se adopten, podrían considerarse o no las importaciones y exportaciones a la hora de calcular el margen de capacidad, es decir que un país puede confiar en parte su seguridad de suministro a países vecinos o puede preferir asegurar su independencia energética, lo que determina la existencia del ciclo de balance B5.

Así mismo podría ampliar su capacidad de generación teniendo en cuenta las posibles necesidades de sus vecinos (exportación), o sólo las locales, generando o no el ciclo de balance B6.

En la Figura 51 se presenta la dinámica de la expansión de la red de transmisión internacional.

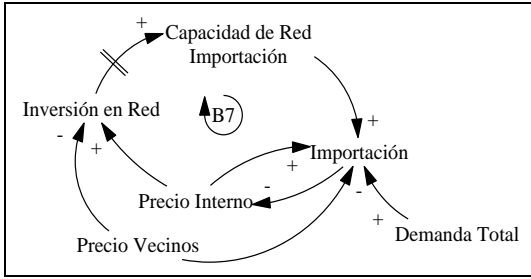


Figura 51. **Expansión de la red de transmisión**

Esta dinámica de expansión se da por motivos económicos, sin embargo es posible que un país decida incentivar la expansión de la red con el fin de mejorar su seguridad de suministro. En este caso estaría corriendo el riesgo de depender energéticamente de otro país.

A continuación se presenta un breve análisis de políticas utilizando el modelo desarrollado para un horizonte de 15 años, de 2010 a 2025, con un paso mensual. Este horizonte es suficiente para observar la expansión en las diferentes tecnologías de generación, y el paso mensual permite observar las variaciones estacionales de la oferta debidas a la hidrología.

1. ANÁLISIS DE POLÍTICAS

Para definir las políticas a considerar en este análisis, se plantean dos ejes principales: expansión de la red y confianza en los vecinos, representados por los ejes horizontal y vertical de la Figura 52 respectivamente. De esta manera se definen los cuatro escenarios que se observan en la figura.

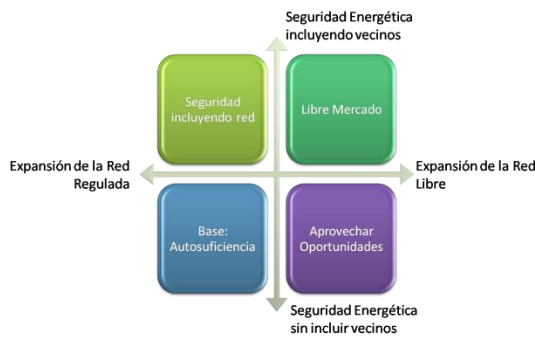


Figura 52. **Escenarios de políticas**

El escenario de autosuficiencia es un escenario en el que no se tienen en cuenta las importaciones ni las exportaciones para calcular el margen de capacidad instalada, y no considera expansión de la red adicional a la que existe en este momento o está en proceso de construcción.

El escenario de seguridad, incluyendo red, tiene en cuenta las importaciones y exportaciones para calcular el margen de capacidad, que es un indicador de la seguridad de suministro, sin embargo, no considera expansión adicional de las redes de transmisión. Es un escenario con poco sentido práctico, razón por la cual no será analizado.

Aprovechar oportunidades es un escenario en el cual se expande la red por motivos económicos, y se realizan transacciones siempre y cuando sean convenientes desde una perspectiva de precios, pero no se confía en los vecinos la seguridad de suministro, es decir, que el margen de capacidad se calcula como si el país estuviera aislado de los demás.

En el libre mercado hay expansión de la red por motivos económicos y de seguridad de suministro, considerando las capacidades de importación y exportación en el cálculo del margen de capacidad.

A continuación se presenta el análisis de estas políticas.

4.1. Escenario base (EB)

En la Figura 53 se presentan los resultados en cuanto a precios y utilización de las redes de los cuatro países. La figura está compuesta por las cuatro gráficas de precios correspondientes a cada uno de los países, considerando el país integrado y aislado; y entre ellas las gráficas que representan la fracción de utilización de la red de transmisión entre cada par de países.

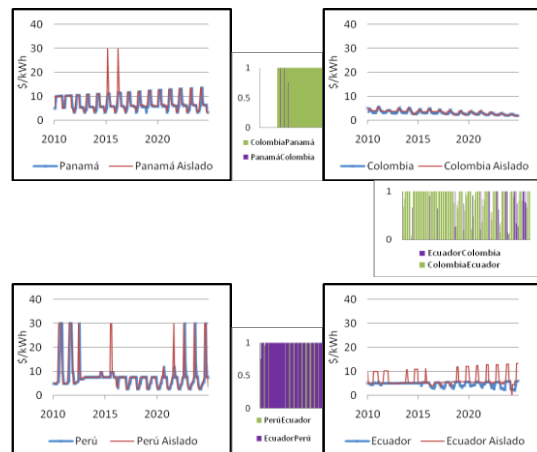


Figura 53. **Precios con y sin integración y utilización de las redes EB**

Puede notarse un alto factor de utilización de las redes Colombia – Panamá y Colombia – Ecuador, esto se debe a que Colombia tiene los menores costos de generación y tiene capacidad disponible para exportar.

Sorprende observar la utilización de la red Ecuador – Perú, ya que los costos de generación por tecnología son menores en Perú que en Ecuador, pero su precio es superior debido a la magnitud de la capacidad instalada en cada tecnología y a que Ecuador puede importar electricidad de Colombia para desplazar generación más costosa.

En el caso de Colombia, exportador neto en este escenario, se puede observar cómo en algunos períodos se invierten los flujos. Este comportamiento se debe a períodos con escasez de agua, que hacen que requiera tecnologías más costosas para abastecer su demanda, por lo que se vuelve atractiva la importación desde Ecuador o Panamá, que pueden estar en un período de mejor hidrología, ofreciendo precios más bajos.

La expansión de la capacidad de generación se realiza de acuerdo con un indicador de rentabilidad, que involucra incentivos del gobierno asumiendo que se busca mantener un margen de capacidad cercano al 30% de la demanda.

En la Figura 54 se presenta la evolución de la capacidad instalada de los cuatro países, y las capacidades de transmisión entre ellos según lo planeado en los acuerdos de la CAN y ASEP-CREG. En el modelo se incorporan además los planes de expansión de los cuatro países hasta el 2018, considerando un crecimiento económico medio.

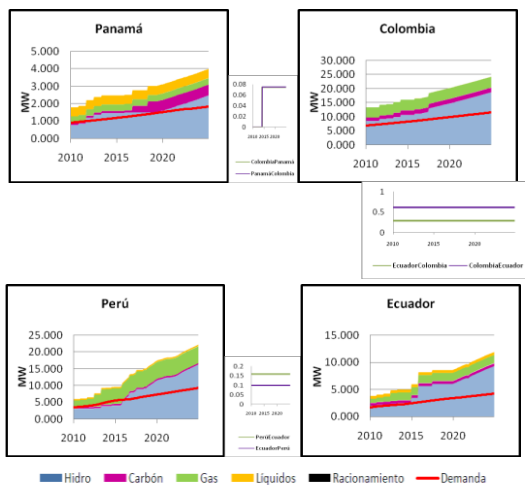


Figura 54. Capacidad instalada de generación EB

Se observa que la expansión se da casi en su totalidad en centrales hidroeléctricas, a excepción de Panamá. Esto se debe a que Colombia, Ecuador y Perú tienen precios muy bajos, lo que hace que sólo las hidroeléctricas, que tienen menor costo de generación, sean rentables. En Panamá, en cambio, no se logran precios tan bajos, por ende, son rentables plantas con mayores costos de generación como las térmicas.

Cabe recordar que en este escenario no se considera la opción de ampliar la red de transmisión, por lo que las decisiones de inversión en generación son locales.

4.2. Independencia energética con expansión económica de la red (IER)

En este escenario la generación se ve desplazada, en muchos casos, por las transacciones internacionales, como se observa en la figura 27 Colombia, por ser el de menores costos de generación, abastece gran parte de la demanda de sus vecinos e, incluso Perú, que no está directamente interconectado con Colombia, se beneficia de la caída en los precios de Ecuador debido a las importaciones desde Colombia.

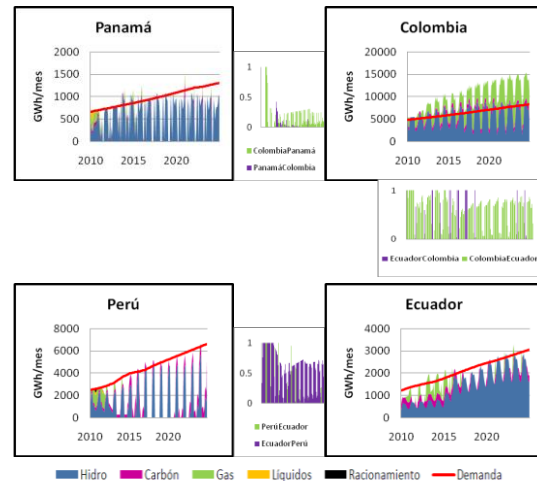


Figura 55. Generación y Utilización de las redes IER

En este escenario se expande bastante la capacidad de transmisión entre los países debido a que esta alternativa de inversión tiene unos costos de instalación muy inferiores a los de las centrales de generación, así que la inversión puede recuperarse fácilmente aún con factores de utilización muy bajos.

Sin embargo, en la figura 28 se observa que la capacidad de generación en todos los países se expande a pesar de que en la figura anterior se puede

notar el bajo factor de utilización, a excepción de Colombia. Esto se debe a los incentivos que se generan con el fin de mantener la independencia energética.

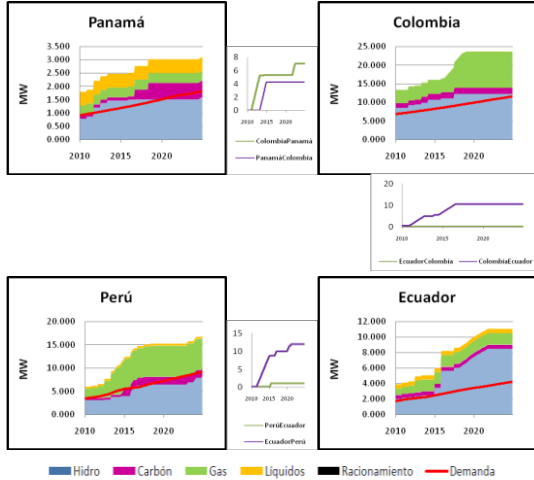


Figura 56. Expansión de capacidad IER

En la figura 29 se observa que la integración permite una disminución en los precios de Panamá, Ecuador y Perú. Sin embargo, cada país aislado podría abastecer su demanda sin problemas la mayor parte del tiempo.

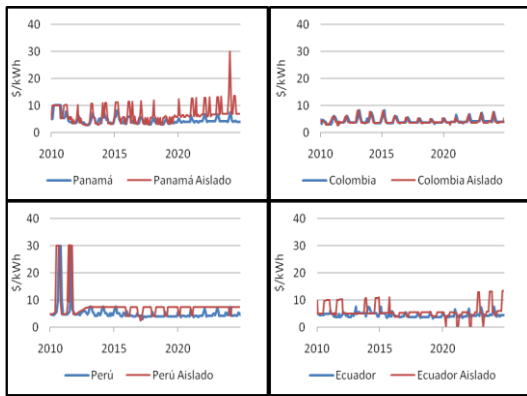


Figura 57. Precios IER

En la figura 30 se presentan los precios de Ecuador y Perú sin considerar la interconexión entre Colombia y Ecuador. Al compararlos con los de la figura anterior, se puede verificar que Perú obtiene beneficios de la interconexión entre Colombia y Ecuador, como se afirmaba antes, debido a que las importaciones de Ecuador desde Colombia dejan excedentes a Ecuador que puede exportar a Perú para contribuir a la disminución de su precio.

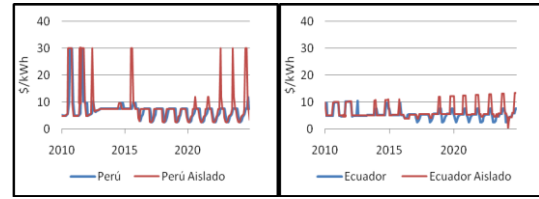


Figura 58. Precios IER sin interconexión Colombia-Ecuador

Además se puede observar en la Figura 59 que Perú y Ecuador generan casi la totalidad de su consumo, y el sentido de las transacciones entre ellos es variable. Esto se debe a que los costos de generación son muy cercanos, y ninguno de los dos países tiene excedentes de capacidad importantes a bajo costo.

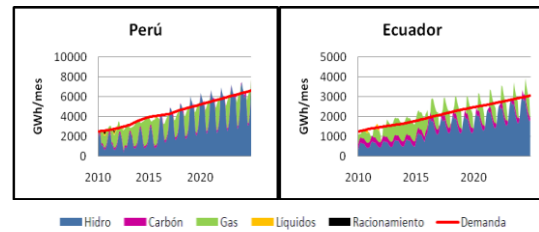


Figura 59. Generación IER sin interconexión Colombia-Ecuador

4.3. Libre mercado (LM)

En este escenario se observa una gran expansión de las redes, y una menor expansión de la capacidad de generación (Figura 60). Esto se debe a la confianza en los vecinos para asegurar el suministro. Ecuador, por ejemplo, deja de expandir su capacidad (la capacidad que entra es únicamente la que se encuentra en el plan de expansión hasta el 2018), pero invierte bastante en la interconexión Colombia – Ecuador.

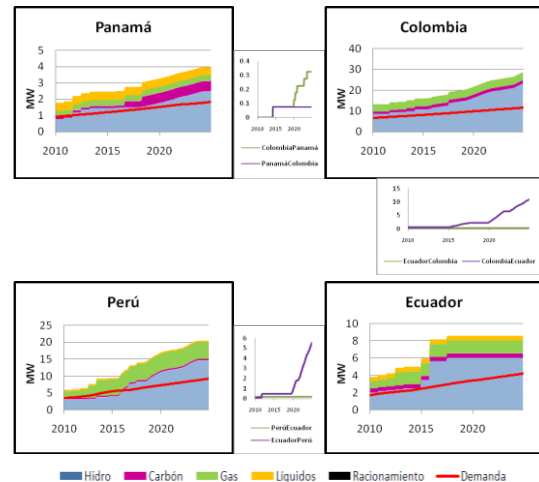


Figura 60. **Capacidad instalada LM**

Como se observa en la Figura 61, en este escenario la magnitud de las importaciones es generalmente menor que en el escenario de independencia energética. Aunque podría parecer inconsistente, este comportamiento se debe a que los países no construyen tanta capacidad de generación, pues confían en que los vecinos pueden contribuir a su seguridad de suministro. Por esta razón los excedentes de oferta no son tan grandes y las magnitudes tranzadas son menores.

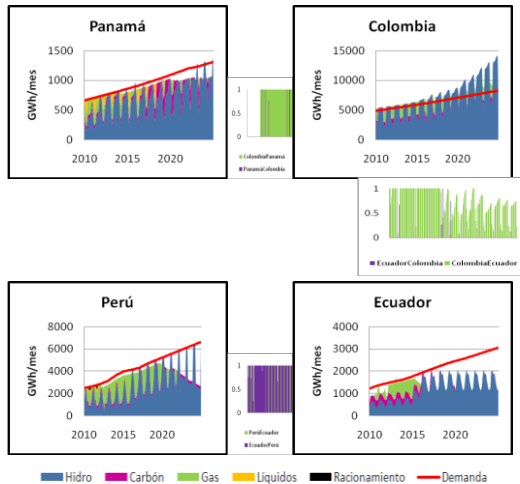


Figura 61. **Generación y utilización de la red LM**

Como es de esperarse, en este escenario los países pueden llegar a depender energéticamente de sus vecinos. En la figura 34 se presentan los precios de los países con interconexión y aislados. El precio de los países aislados representa el precio que tendría el país en caso de que se le cortara el suministro desde los países vecinos.

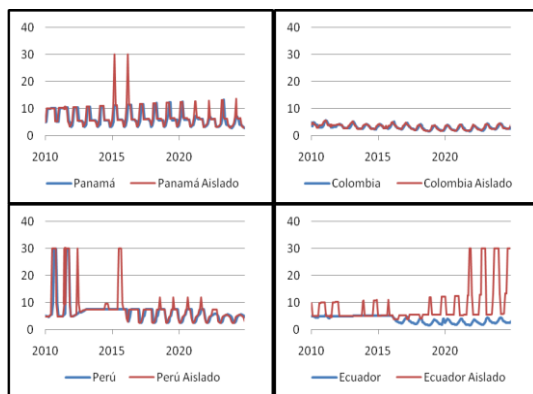


Figura 62. **Precios LM**

Se observan muchos casos en los que una desconexión de las redes llevaría a precios de

de racionamiento, destacando la situación de Ecuador hacia el final de la simulación, donde se evidencia la dependencia de las redes debida a la falta de expansión de su capacidad de generación.

Si bien una política de confianza en los vecinos puede contribuir a la eficiencia del sistema, problemas técnicos o políticos que impidan las transacciones internacionales pueden poner en peligro la seguridad de suministro.

2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se desarrolló una herramienta novedosa, combinando un modelo de Dinámica de Sistemas y un algoritmo iterativo de despacho mediante un protocolo DDE, que corren acoplados para reproducir comportamientos de largo plazo en los mercados, involucrando las soluciones del despacho en el corto plazo.

El modelo permite analizar diferentes políticas y considerar diversos escenarios en la integración de cuatro países, como es el caso de Panamá, Colombia, Ecuador y Perú, observando sus posibles efectos sobre las tendencias en la evolución de la capacidad instalada, la cual está altamente relacionada con la seguridad de suministro.

El modelo desarrollado es útil para entender posibles comportamientos que puede tener el sistema e identificar variables que requieren mayor atención en el momento de diseñar un mercado integrado como el que se pretende.

La integración eléctrica puede producir grandes beneficios en cuanto a disminución de los costos de suministro y aprovechamiento de las complementariedades entre los países si se aplican las políticas adecuadas. Además puede generar condiciones favorables para la inversión en capacidad de generación mediante tecnologías más eficientes, al incrementarse el tamaño del mercado y la competencia. Sin embargo, un país puede resultar afectado de manera negativa si no tiene cuidado al implementar subsidios o sistemas de costos/precios en la generación, ya que estos pueden tener un gran impacto en las transacciones internacionales, y podría terminar subsidiando la demanda o la generación de otros países de la región.

Debido a la gran capacidad de generación hidroeléctrica en la región, las variables relacionadas

con la hidrología y la valoración del agua tienen efectos importantes sobre el comportamiento del sistema. Pero así mismo es posible abastecer la demanda a costos bajos aprovechando las complementariedades hidrológicas entre los países.

Por medio de la interconexión se puede lograr disminuir los costos de abastecimiento de la demanda con inversiones de bajo costo, y se puede mejorar la seguridad de suministro, evitando racionamientos mediante importaciones. Pero según las políticas implementadas, podría afectarse negativamente la seguridad de suministro al confiar excesivamente en las importaciones sin tener control sobre las decisiones del país exportador.

3. REFERENCIAS

- [1] R. PIERCE, Michael Trebilcock, and E. Thomas, "Beyond Gridlock: The Case for Greater Integration of Regional Electricity Markets," C.D. Howe Institute, 2006.
- [2] ETSO, "Evaluation of congestion management methods for cross-border transmission," 1999.
- [3] OMEL, "South Western Europe Mini-forum. OMEL views and contributions," Madrid: 2005.
- [4] ETSO, "An Overview of Current Cross-border Congestion Management Methods in Europe," 2006.
- [5] APX, "Market Coupling: Key to EU Power Market Integration," Energy Viewpoints, 2007.
- [6] ERGEG, "Electricity Regional Initiative - Convergence and Coherence of the Regional Development," 2007.
- [7] OMEL-EPEX, "Price Coupling of Regions," 2009.
- [8] Nord Pool, "Explicit and implicit capacity auctions - market coupling and market splitting," 2010.
- [9] RUDNICK, J. & ZOLEZZI, H. "Electric Sector deregulation and Restructuring in Latin America: Lessons to be Learnt and Possible Ways Forward," IEE Proceedings online no. 20010230, 2001.
- [10] WOLAK, F. A. "Market Design and Price Behavior in Restructured Electricity Markets: An International Comparison.," EASE, vol. 8, 1997, pp. 79-134.
- [11] STOFT, S. Power System Economics: Designing Markets for Electricity, USA: 2002.
- [12] CAN, "Decisión CAN 536," 2002.
- [13] CAN, "Decisión 720," 2009.
- [14] ASEP - CREG, "Acuerdo entre la CREG y las ASEP," 2009.
- [15] XM, "El Esquema Andino de las TIE," 2005.

AGRADECIMIENTOS

A CEIBA por el apoyo económico al desarrollo de este proyecto.

Manejo del control de tensión por medio de generación distribuida en el sistema de potencia colombiano

Management of voltage control using distributed generation in colombian power system

Adriana Arango M., Ing., Sandra X. Carvajal Q., MSc., Santiago Arango A.², PhD.

Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales,

²Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

aarangoma@unal.edu.co, sxcarvajalq@unal.edu.co, saarango@unal.edu.co

Resumen: El artículo presenta un estudio sobre la penetración de la Generación Distribuida (GD) en una región particular del sistema de potencia colombiano a través de la implementación de incentivos comerciales, ambientales y técnicos. Para realizar el estudio se utiliza un modelo de simulación, el cual permite observar el comportamiento de la GD, frente a la implementación de cada incentivo en un horizonte de tiempo de 20 años. Las simulaciones muestran que son fundamentales los incentivos ambientales y técnicos para que los proyectos de GD sean viables desde el punto de vista financiero.

Palabras clave: calidad de la potencia, control de tensión, Dinámica de Sistemas, generación distribuida, potencia reactiva, servicios complementarios.

Abstract: This paper presents a study on the integration of Distributed Generation (DG) in a specific region of the Colombian power system through the implementation of trade incentives, environmental and technical. We conduct the study using a simulation model, which allow to observe the behavior of GD, compared to the implementation of each incentive on a time horizon of 20 years. The simulations show that are critical environmental and technical incentives for that DG projects will can be viable from a financial standpoint

Key words: ancillary services, distributed generation, power quality, reactive power, system dynamics, voltage control.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, uno de los problemas fundamentales de la electricidad es la seguridad del suministro, el cual no solo considera la disponibilidad sino también la calidad. El operador del sistema de potencia debe mantener la frecuencia y los perfiles de tensión estables y dentro de los rangos requeridos por la normatividad. De esto depende que el suministro de electricidad se mantenga continuo y con la calidad requerida por los usuarios finales [1].

Para poder facilitar el cumplimiento de estas exigencias operativas, los operadores cuentan con servicios de soporte técnico conocidos como servicios complementarios, los más utilizados son el control de tensión, el control de frecuencia y el arranque autónomo [1].

El control de tensión está relacionado con el suministro de potencia reactiva en las barras del sistema mediante el uso de diferentes equipos y tecnologías [2]. Este control es conocido como un control local, puesto que la potencia reactiva que fluye desde los diferentes puntos de la generación hasta el centro de consumo, se puede proveer cerca a la demanda y así disminuir la caída de tensión en los nodos, mejorando los índices de calidad de la

potencia y aumentando la potencia activa que fluye por el sistema de transmisión [2].

La Generación Distribuida (GD) presenta el potencial para prestar el control de tensión [3], además de otra serie de posibilidades. La GD al estar ubicada cerca de los centros de consumo ayuda a descongestionar las redes de transmisión [3], además aporta, ya sea generando o absorbiendo, con el generador distribuido, la potencia reactiva necesaria al sistema para que la tensión en los nodos cercanos sea la reglamentada. Adicionalmente y con respecto al tema ambiental, la GD se caracteriza por utilizar plantas con capacidades menores a 20 MW y además también pueden utilizar recursos renovables aportando a la reducción de emisiones perjudiciales al medio ambiente [4].

En este artículo se presenta un modelo de difusión realizado en DS [5] donde se estudia la inserción de la GD en el sistema interconectado de Colombia. El modelo de simulación permite analizar el crecimiento de la GD cuando se incluyen incentivos comerciales, incentivos ambientales e incentivos técnicos adicionales a los incentivos por exención de impuestos presentes en la actualidad en la regulación colombiana.

El estudio se realizó en una subregión conocida como Caldas, Quindío y Risaralda (CQR), la cual hace parte del área operativa suroccidental del sistema de potencia colombiano.

En CQR existen problemas de estabilidad de tensión debido a la conexión de cargas altamente inductivas. Una posible solución es conectar GD debido a la existencia de recursos hídricos y materia prima para la creación de biocombustibles [4].

El artículo está organizado como sigue. En la sección 2 se explican los aspectos técnicos del control de tensión cuando se utiliza la GD, en la sección 3 se estudia el análisis económico que se debe evaluar para el modelo, en la sección 4 se muestra la implementación del modelo de difusión de la GD en una subregión de la zona operativa suroccidental, en la sección 5 se evalúan las alternativas de incentivos estudiados para implementar la difusión de la GD y en la última sección se muestran las conclusiones del estudio de difusión de la GD en el sistema de potencia colombiano.

2. ASPECTOS TÉCNICOS DEL CONTROL DE TENSIÓN UTILIZANDO GD

El control de tensión es un servicio complementario que permite mantener la tensión en un nodo o barra dentro de los valores requeridos por el regulador [5]. Además, los nodos con perfiles de tensiones estables, presentan menores pérdidas por potencias activa y reactiva que se dan en las líneas que interconectan

dichas barras [6], favoreciendo la calidad en el suministro local y en las barras cercanas.

El control de la tensión es importante porque cuando se evidencian perturbaciones en la onda sinusoidal de tensión, los equipos se dañan y las cargas industriales y demás usuarios funcionan de manera inadecuada [6].

Una solución que se encuentra en proceso de investigación [6] para realizar el control de tensión y reactivos es la GD. Al conectar la GD en las barras donde se presentan caídas de tensión, se logra mejorar la regulación, a través del correcto flujo de reactivos desde y hacia la red.

En esta sección se explica el comportamiento de las cargas con alto valor inductivo y su efecto sobre la onda y la calidad de la tensión. Además se muestran los resultados del impacto que la GD aporta al control de tensión y de reactivos a la red, en un área del Sistema Interconectado Nacional (SIN) correspondiente a una subregión del área suroccidental, mediante simulaciones, con el propósito de evidenciar los beneficios que este tipo de generación aporta en áreas operativas con presencia de cargas inductivas.

2.1 Comportamiento de las cargas industriales en el sistema de potencia

Las cargas industriales presentan alto valor inductivo, lo que se traduce en cargas con un comportamiento no lineal que necesitan consumir alta cantidad de potencia reactiva de la red [7], disminuyendo y modificando abruptamente la onda sinusoidal de tensión en la barra y también en las barras cercanas del área operativa.

El regulador define que la onda de la tensión se debe evaluar, mediante un índice llamado PST (Percibility Short Time) [8], el cual define que un sistema eléctrico cumple con la calidad de potencia cuando registra un PST entre 0.9 y 1.

En la figura 1 se muestra el registro en un periodo de 24 horas de un dispositivo que mide el índice PST en una barra del área operativa CQR. La barra escogida tiene conectada una siderúrgica y se observa un comportamiento inestable en su operación cotidiana y esta situación se agrava entre la 13:00 y las 15:00 debido a que entran adicionalmente en funcionamiento los hornos para fundir el metal y desarrollar las aleaciones químicas.

Este aumento de consumo en las cargas altamente inductivas ocasiona un índice PST de 0.2, lo que significa un sistema con una onda de tensión distorsionada que no solo afecta su propio consumo sino el consumo de las cargas cercanas.

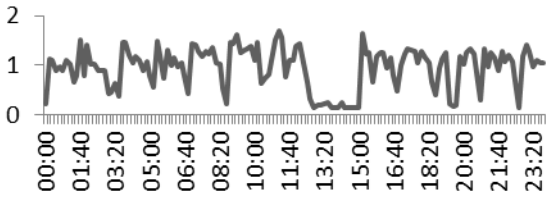


Figura 1. Índice PST

El operador del sistema de potencia colombiano utiliza generadores centralizados para el manejo del control de reactivos y de la tensión, sin embargo estos generadores, debido a las restricciones de operación, sufren una disminución de la potencia activa nominal en momentos en que modifican la entrega o absorción de reactivos [6]. Esta condición disminuye la capacidad de generación neta por lo que puede afectar los índices de seguridad del sistema de potencia [5].

2.2. Impacto de la GD en el control de tensión para los sistemas eléctricos de potencia

Como se mencionó anteriormente, las perturbaciones de la onda de tensión ocasionan un suministro de electricidad con baja calidad.

Cuando estas perturbaciones se generalizan en el sistema interconectado de potencia se pueden desencadenar colapsos de tensión, que en casos severos pueden llevar al sistema a una descompensación operativa que termina en un apagón total. La zona operativa en la que se realizó el estudio es una de las que presenta mayor número de eventos de tensión fuera de rango, lo que justifica que en esta área se implementen soluciones para evitar un posible colapso de tensión. A continuación se muestran los resultados del estudio técnico basado en la conexión de GD en las barras donde la tensión se encontraba por fuera del rango reglamentado.

2.2.1. Caso de estudio

El sistema en el que se evaluó el control de tensión con GD consta de 22 barras, dos conectadas a 220 kV, seis con tensión de 115 kV y 14 conectadas a 33 kV. Las cargas conectadas a la red presentaban un alto valor inductivo, simulando cargas industriales. Este sistema tiene problemas de tensión en las barras 19 y 22 las cuales están conectadas 33kV. El estudio consta de cinco casos, los cuales tienen en cuenta la conexión de generadores distribuidos de 10 MW en las barras con tensiones por fuera del rango permitido.

Además, se complementa con la conexión de Bancos de Capacitores (BC), debido a que estos dispositivos son económicos y muy utilizados por la industria

eléctrica para el mejoramiento del perfil de tensión [6]. La tabla 1 muestra las características de cada caso.

Tabla 1. Casos en que se divide el estudio técnico de utilizar la GD para el control de tensión

Casos	Descripción
1	GD solamente en la barra 22
2	GD barra 22 y BC
3	GD en la barra 19
4	GD en la barra 22, 19 y BC
5	Solamente BC

En la figura tres se observa el comportamiento de la tensión en la barra 19. La regulación determina que el valor mínimo de la tensión de una barra de 33kV es de 0.9 p.u. [7]. En este sistema, la barra 19 tenía una tensión de 0.6p.u., al conectarle GD, aumenta la tensión a 0.97, cumpliendo con la normativa.

Cuando se conecta el BC, el resultado es de 0.98, mejorando la magnitud pero sin un cambio representativo.

En el caso cinco, la tensión aumenta hasta 0.7p.u. lo que demuestra que es necesario tener GD, ya que el BC aunque tiene la misma magnitud que el generador distribuido, no alcanza a aumentar la tensión en la barra 19 en la misma proporción.

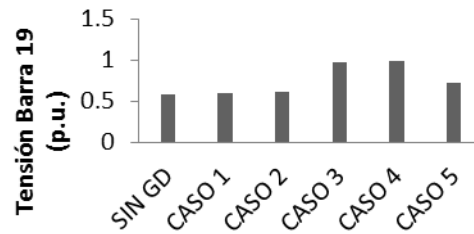


Figura 3. Tensión en la barra 19

La figura 4 muestra que la GD ayuda a disminuir las pérdidas en las líneas por potencia activa y reactiva. Las pérdidas disminuyen proporcionalmente con el aumento de la tensión en las barras problema (caso tres y cuatro).

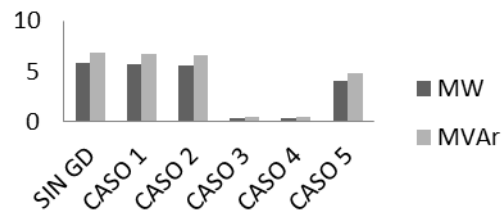


Figura 4. Pérdidas de Potencia Activa y Potencia Reactiva en la línea entre las barras 17 y 19

En conclusión, se puede destacar que la GD presta un control local, con consecuencias regionales. Las consecuencias más notorias son aumento en la tensión, descongestión en las líneas de transporte y disminución de las pérdidas.

Es importante destacar que la implementación de la GD debe hacerse con un estudio previo, dado que en el caso de barras con sobretensiones, la GD puede agravar el problema y ocasionar daños peores a la calidad de la potencia.

A partir de los resultados obtenidos de las simulaciones, es posible evaluar el efecto que ejerce la GD en la magnitud de la tensión con respecto a la cantidad de MW instalados. En la figura 5 se muestra el comportamiento mencionado anteriormente del factor GDI que permite evaluar la capacidad de GD instalada con relación a la GD proyectada, es decir, el factor que determina el impacto de la instalación de GD a la magnitud de las tensiones en las barras cuando se le instala al sistema GD.

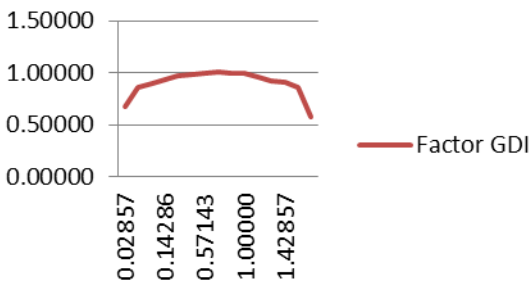


Figura 5. Factor GDI para el modelo de simulación

El factor muestra que a menor relación de GD instalada con respecto a la proyectada, los índices de tensión no alcanzan a mejorar en todas las barras del sistema, asimismo se observa que cuando la relación es muy alta, la calidad de la potencia se disminuye, perjudicando el valor de la magnitud de la tensión y las cargas conectadas a éste.

3. ANALISIS ECONÓMICO DE LA DIFUSIÓN DE LA GD

En este análisis se tuvieron en cuenta los costos de operación e inversión al implementar GD que utilicen productos orgánicos para la creación de biocombustibles.

La razón de estudiar la viabilidad de las plantas con biocombustibles se debe a que este tipo de generación permite mejorar los índices de contaminación ambiental y además en Colombia, debido a su gran potencial agrícola, se han empezado a desarrollar proyectos exitosos para la fabricación de biocombustibles, como son las industrias azucareras y los cultivos de palma africana.

Los costos de operación se fundamentan en los costos de generación asociados al precio del combustible, de la administración y del mantenimiento [9].

Los costos de inversión están relacionados con los costos de capital de la planta. Los costos de capital según la IEA para este tipo de tecnologías van disminuyendo con el paso del tiempo debido a que se espera que se dé un mejoramiento en la eficiencia y consumo de estas tecnologías [9].

En [9] se comparan los niveles de inversión y los costos de generación promedio para diferentes tecnologías, además se hace una proyección que muestra cómo se espera que en 20 años las energías alternativas de generación disminuyan los costos de inversión y generación, por lo que se aumente su utilización en todo el mundo.

Los costos de capital actuales en proyectos de GD con biomasa son elevados con respecto a los costos incurridos por proyectos de generación centralizada convencional. Por esta razón es fundamental contar con incentivos económicos que permitan el aumento de este tipo de generación.

Las experiencias en países como España, Estados Unidos, Alemania, muestran que los incentivos son primordiales [10], por lo menos en el periodo inicial de construcción y operación a mediano plazo para que se pueda aumentar la cantidad de plantas distribuidas y de esta manera pensar en utilizarlas como complemento para la operación del sistema interconectado, creando una herramienta adicional, específicamente en el tema del control de tensión.

Los incentivos económicos para la GD pueden ser justificados, ya que además de poder ser utilizados para el mejoramiento de la calidad de la potencia a través del suministro de servicios complementarios, la GD ayuda al aplazamiento de obras adicionales en los sistemas de transmisión y distribución, ya que al reducir las sobrecargas en las redes, permite continuar con el mismo calibre de los conductores y con las mismas capacidades de los transformadores, protecciones y generadores.

La GD utiliza un amplio portafolio de tecnologías, renovables y no renovables que permite a los sistemas de potencia mayor flexibilidad y margen de reserva para aumentar la confiabilidad en periodos de sequía y en situaciones de volatilidad en abastecimiento y precio de los combustibles fósiles.

En Colombia, la GD representa el 4.2% del total de la capacidad instalada del sistema de potencia [11]. La instalación de plantas menores fue de 564.3 MW en el 2009, un aumento del 1.1% con respecto al 2008 [11].

La barrera principal para que la GD no se haya masificado en Colombia es que los incentivos existentes son solamente en el periodo de inversión y

son indirectos dado que se basan en la exención de impuestos a las plantas en construcción [12].

A pesar de que el marco regulatorio no contempla la GD como una opción de generación, existen algunas industrias como las petroleras, las cementeras, ingenios azucareros entre otros, que cuentan con máquinas que les permite llevar a cabo procesos de autogeneración y en algunos casos de cogeneración. Estas plantas de GD, según la resolución colombiana, no pueden vender sus excedentes en el MEM debido a que es prohibido que los mismos generadores comercialicen y distribuyan la energía. Además, la regulación no permite que las industrias se independicen totalmente de la red eléctrica, generándoles un costo adicional a los autogeneradores que no la necesitan, pues pudiesen obtener un menor costo, ya que solo necesitan la red interconectada en caso de emergencia.

Esta investigación propone como mecanismo de difusión de la GD en Colombia adicionar a unos posibles futuros incentivos ambientales por operación e incentivos técnicos relacionados con el control de tensión y reactivos.

4. MODELO PARA PROMOVER EL USO DE LA GD EN COLOMBIA

Para el estudio del problema y el desarrollo del modelo se han seguido los lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas [13].

El modelo está inspirado en el modelo de difusión clásico de Bass, con adaptación donde la penetración de la GD es función de los diferentes incentivos para esta tecnología.

4.1 Diagrama causal

El diagrama causal de la figura 6 muestra las principales variables y las relaciones que permiten estudiar la difusión de la GD en el sistema de potencia colombiano teniendo en cuenta incentivos adicionales.

El primer incentivo está justificado desde el aspecto ambiental y se debe a la reducción de CO₂ y NO_x, puesto que esta generación presenta menor impacto ambiental en comparación con grandes centrales de energía eléctrica [9]. Con la implementación de los incentivos mencionados, el ciclo que se forma para los incentivos se muestra como un ciclo de refuerzo.

El segundo incentivo está enfocado a utilizar la GD como una herramienta que puede servir para prestar servicios de soporte técnico a la red de potencia, específicamente pagarles a los generadores distribuidos por ayudar a mantener niveles de tensión y reactivos dentro de los rangos exigidos por el

regulador con el fin de mejorar los índices de calidad y seguridad del sistema de potencia.

El ciclo de balance es el ciclo que limita el crecimiento de la GD. La característica limitante de la masificación de la GD se debe específicamente a que a mayor número de unidades que presten el servicio de control de reactivos, la calidad disminuye, presentándose fenómenos como hundimientos en la onda de tensión.

El modelo también tiene en cuenta los incentivos regulatorios y externos actuales, los cuales son incentivos indirectos, ya que están relacionados con exenciones tributarias por invertir en este tipo de proyectos, pero luego los agentes generadores no reciben ningún tipo de remuneración o prima adicional por generar con recursos renovables o de bajo impacto ambiental.

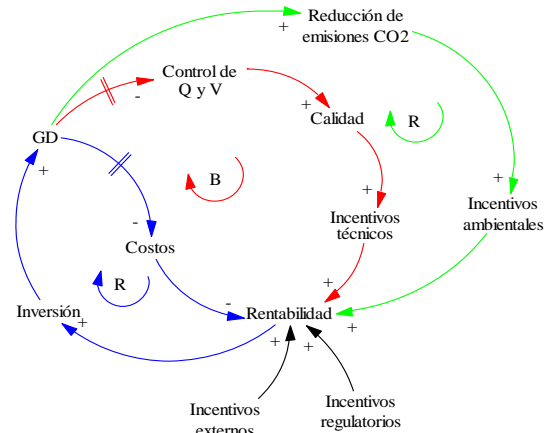


Figura 6. Modelo Causal - difusión de la GD

4.2 Formulación del modelo

Para la formulación del modelo se considera una fase de preinversión, otra de inversión y por último la fase de la operación.

La fase de preinversión está representada en el modelo por la variable de flujo crecimiento, la cual culmina con la evaluación final y decisión de invertir. La ecuación (1) muestra el comportamiento de la variable *crecimiento* y su relación con las demás variables del sistema. Además, es necesario considerar que el crecimiento está condicionado para que solamente la GD instalada crezca hasta los MW referencia y así garantizar una respuesta real.

Este crecimiento está restringido por una evaluación entre el regulador y el operador del sistema de distribución para determinar, según las características propias de cada región, la GD necesaria con el fin de garantizar que el sistema funcione correctamente, dentro de las particularidades técnicas que se presentan en el área donde se planea instalar la GD.

El estudio que se desarrolla por parte de estos agentes se determina mediante el tiempo de evaluación, que corresponde al tiempo requerido para evaluar las condiciones técnicas de los nodos a los que se conecta la GD.

$$\text{crecimiento} = IF \left(\begin{array}{l} GD_{necesaria} > 0, \frac{REF \times GD_{necesaria}}{\text{Tiempo_de_evaluacion}} \\ GD_{necesaria} < 0, 0 \end{array} \right) \quad 1$$

La decisión de invertir dependerá de un estudio donde se pueda identificar si existen oportunidades y rentabilidad, este estudio está representado por los Resultados de la Evaluación Financiera (REF).

La ecuación (2) define cómo la variable *REF* depende de la rentabilidad que exista para ese mercado, considerando que existe una variable denominada sensibilidad (α) que refleja el punto de inflexión en el que las condiciones únicas del mercado macroeconómica afectan y dependen del proyecto y del mercado.

$$REF = \text{rentabilidad}^\alpha \quad 2$$

En el proceso de análisis de inversión en la instalación de la GD se requiere un conocimiento claro de las condiciones que están participando en el proyecto a evaluar, complementado el proceso de evaluación de las alternativas de rentabilidad con un análisis detallado de los aspectos cuantitativos, lo que requiere de un tiempo mientras se realiza dicha evaluación y se toma la decisión por parte de los inversionistas.

La rentabilidad se expresa como la relación beneficio costo que ofrece el desarrollo e implementación del proyecto, es decir, que si el proyecto es rentable, este factor tendrá valores mayores que uno, definiendo que ese proyecto afecta directamente la inversión en plantas de GD instaladas. Para este caso el beneficio que se analizó corresponde a la comercialización de la P por parte de los GD.

La evaluación del crecimiento permite que la Generación Distribuida Potencial (*GD_Potencial*) pueda crecer convirtiéndose en plantas de GD conectadas al sistema de potencia colombiano.

En el modelo formal, la variable de nivel de la *GD potencial* es alimentada por la variable de flujo atractividad, la cual compara el crecimiento con la Tasa Interna de Retorno (*TIR*) y el resultado de este nivel converge en la variable de flujo Inversión, la cual representa la segunda fase de desarrollo del proyecto.

Finalmente, la última fase es la operacional, que se observa más claramente por la Generación Distribuida Instalada (*GDI*). Estas plantas de *GDI* comprenden la capacidad en MW de las plantas que se construyen. Estas plantas son las que se utilizan y están disponibles para ser remuneradas por los

diferentes incentivos que se implementarán en el modelo de difusión de la GD.

Las ecuaciones diferenciales asociadas al proceso descrito anteriormente son:

$$\frac{\partial GD_{potencial}}{\partial t} = \text{atractividad} - \text{Inversión} \quad 3$$

$$\frac{\partial GDI}{\partial t} = \text{Inversión} \quad 4$$

$$\text{Inversión} = \frac{GDI}{\text{tiempo_instalación}} \quad 5$$

Las ecuaciones (3) y (4) representan los niveles del sistema, estas variables, como se mencionó en el desarrollo de la DS, están representadas por ecuaciones diferenciales puesto que presentan un cambio de su información con la variación del tiempo, ajustándose a las diferentes condiciones representadas en los flujos de entrada y de salida de cada uno de ellos.

Para realizar el estudio de factibilidad hay que analizar los costos en los que se incurre al momento de la inversión, instalación y operación de la GD. Las ecuaciones asociadas a los costos son:

$$C_{totales} = \text{Costos_inver} + \text{Costos_oper} \quad 6$$

Los costos totales son la suma de los principales costos asociados a la implementación de la GD, es decir, los costos que se refieren a la inversión y los costos de operación de la planta de GD.

Costos de inversión: Estos costos son los de capital de la planta de biomasa, que se incurren al momento de implementar esta planta en algún punto del sistema.

$$\text{Costos_inver} = GD_{Total} \times C_{capital} \quad 7$$

Los costos de capital definidos en la ecuación (7), son establecidos según [9], puesto que la GD utilizada en el caso de estudio corresponde a generadores que utilicen biomasa, para este caso se implementarán los biocombustibles. Y para este tipo de tecnologías van disminuyendo en el tiempo debido a que con el tiempo se espera que se avance en el mejoramiento de eficiencia y consumo, por esta razón los costos de capital son una función tabla que decrece en el tiempo.

Costos de operación: Estos costos se asocian a lo que necesita el generador para su funcionamiento, es decir, se depende de la cantidad de potencia que se genera. Es por esta razón que los costos de operación de una planta biodiésel se toman de los costos de generación de [9].

Por lo tanto los costos de operación de la planta de biodiésel se describen en la ecuación (8).

$$C_{oper} = GDI \times C_{generación} \quad 8$$

La comercialización de la P de los GD se basa en la comercialización de las plantas con potencia

instalada menor a 20 MW, se describe en la ecuación (9) donde se aplica un despacho no centralizado, en el que el precio que se les remunera a cada generador es el precio de bolsa (Rodríguez, 2009).

$$\text{Comercialización} = GDI \times P_{\text{bolsa}} \quad 9$$

El parámetro precio de bolsa se toma de los registros de XM, la entidad encargada del mercado de electricidad en Colombia, para el cálculo de la tarifa que se les remunera por participar en la bolsa de energía [11].

Los incentivos ambientales se evalúan con la calidad del aire, que mide la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten al medio ambiente al momento de la generación, especialmente cuando se utilizan los combustibles fósiles.

La ecuación (10) define la remuneración por reducción de emisiones de CO₂ y NO_x, está dada por la prima de reducciones y la capacidad de la GD instalada.

$$\text{Incentivos}_{\text{ambientales}} = GDI \times \text{Prima}_{\text{reducción}_{\text{CO}_2}} \quad 10$$

Los incentivos técnicos son implementados cuando la GD presta el servicio de control de tensión y reactivos.

Como se demostró en el caso de estudio, la GD permite aumentar la tensión en las barras de conexión y barras circundantes, situación que es muy favorable mientras no se exceda los rangos establecidos por el regulador, los cuales dependen del nivel de tensión.

Para el caso de estudio se encontró la magnitud de una GD referencia, esta magnitud corresponde a la cantidad de MW instalados de GD que puede ser conectada a la red antes de ocasionar problemas de calidad como oscilaciones en los valores nominales de las tensiones de barra, colapsos de tensión, entre otros problemas de calidad asociados a la onda de la tensión.

A partir de la relación entre la GD referencia y la GDI, denominada Ratio, se determina el factor de GDI (ver sección 2.2.1).

Con el resultado del *factor_GDI* es posible conocer la calidad que presenta el sistema en dicho momento. Esta calidad es necesario acotarla a los valores de tensión permitidos, puesto que se compara el valor con la *Calidad_referencia*. La ecuación (11) muestra cómo en el modelo de simulación se incluye la calidad con el *factor_GDI* y la *Calidad_ref*.

$$\text{Calidad} = \text{factor}_{\text{GDI}} \times \text{Calidad}_{\text{ref}} \quad 11$$

La resolución 025 de 1995 determina los rangos permitidos según el nivel de tensión, en el caso de estudio se utilizaron tensiones de 115kV y el rango permitido es entre el 90-110% de la tensión nominal, por lo tanto aunque la calidad referencia en este caso es el valor nominal, el regulador permite variaciones

controladas sin que por ello se vea afectada la calidad, de esta forma los incentivos técnicos se entregarían mientras la tensión se mantenga entre este rango, las siguientes ecuaciones describen matemáticamente este comportamiento:

$$\text{Incentivos}_{\text{técnicos}} = IF (103.5 < \text{Calidad} < 126.5, GDI \times \text{Prima}_{\text{técnica}}, 0) \quad 12$$

El parámetro de prima técnica corresponde al valor recibido por una central de generación que preste el servicio complementario de regulación secundaria de frecuencia o AGC. Este valor fue utilizado en el modelo, dado que el servicio de AGC es el único servicio complementario regulado en el mercado de energía eléctrica colombiana.

5. EVALUACIÓN

En esta sección se evalúa cada uno de los incentivos propuestos, los cuales son comparados con el caso base. Este considera los incentivos indirectos existentes y venta de la energía generada a precio de bolsa. Con las simulaciones se desea observar el grado de afectación sufrido por el sistema cuando cada esquema de incentivos es implementado.

5.1 Escenario Base

Se analiza el sistema con las características actuales. No se implementan incentivos directos, solamente se evalúan los incentivos indirectos que existen como es el caso de la exención del impuesto de la renta. La remuneración anual por venta de MW según el precio de bolsa actual es el beneficio que se implementa, es decir, que a estas plantas se les remunera por la participación en la subasta diaria, sin entrar a competir con las grandes centrales hidroeléctricas, y además por contar con capacidad menor a 20 MW.

La figuras 7 muestra que la GDI crece en el tiempo, sin embargo, se demoraría 20 años en alcanzar la cantidad necesaria de GD.

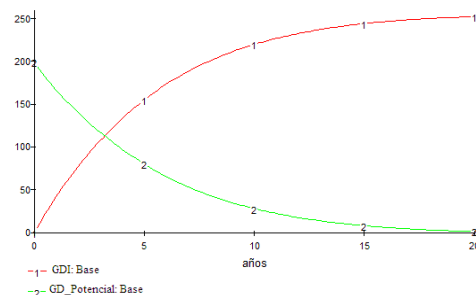


Figura 7. GDI, GD_potencial vs. Horizonte de tiempo del caso Base

La figura 8 muestra el comportamiento de la rentabilidad, la cual es definida en este modelo como la relación beneficio - costo. Cuando esta relación es mayor a 1 significa que el proyecto es atractivo desde el punto de vista financiero, por lo tanto, el escenario base muestra que la rentabilidad aunque aumenta en 20 años no alcanza a superar el umbral de la unidad, es decir, el proyecto no se justifica desde el punto de vista financiero.

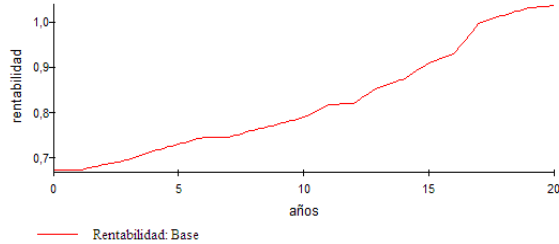


Figura 8. Rentabilidad vs. Horizonte de tiempo del caso Base

5.2 Escenario 1

Para este caso se tienen en cuenta las características del escenario base y se le adicionan los incentivos ambientales por reducción en la emisión de los gases de efecto invernadero, como es el caso del CO2 y el NOx.

En la figura 9 se observa que la GDI alcanza el valor de la GD referencia en un menor tiempo cuando se incluye en la regulación incentivos ambientales, para este caso la GDI total se alcanza en 10 años. El aumento en el crecimiento gracias a los incentivos permite al inversionista recuperar en menor tiempo la inversión que cuando se considera el caso base.

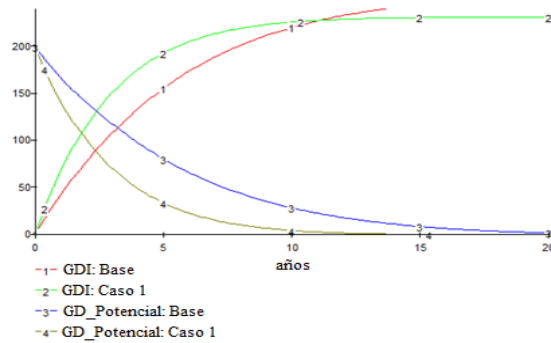


Figura 9. GDI, GD_Potencial vs. Tiempo: caso Base y caso 1

Se muestra en la figura 10 cómo la rentabilidad para proyectos que benefician el ambiente y que se les retribuye económicamente mediante incentivos ambientales, presentan un comportamiento en el que

se considera que los ingresos o beneficios son mayores que los costos incurridos, valor de rentabilidad mayor a 1. El crecimiento de rentabilidad a lo largo de los 20 años tiene un comportamiento creciente, con una pendiente más pronunciada que el caso base, indicando que esta condición con incentivos es favorable para que los inversionistas piensen en este tipo de generación.

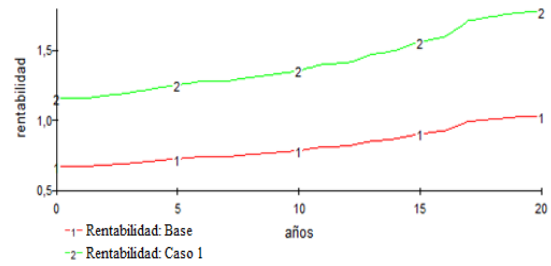


Figura 10. Rentabilidad vs. Tiempo: caso base y caso 1

5.3. Escenario 2

En la implementación del caso 2 se tienen en cuenta todas las características del escenario 1, adicionalmente se modelan los incentivos técnicos. Este caso es el que presenta el comportamiento más favorable, puesto que las plantas de GD instaladas tienen un tiempo de 5 años para llegar a su valor potencial. En la Figura 11 se observa que este escenario al tener en cuenta incentivos por mejorar las condiciones técnicas de la red, permite a los inversionistas mayor certeza de que este proyecto es viable económicamente.

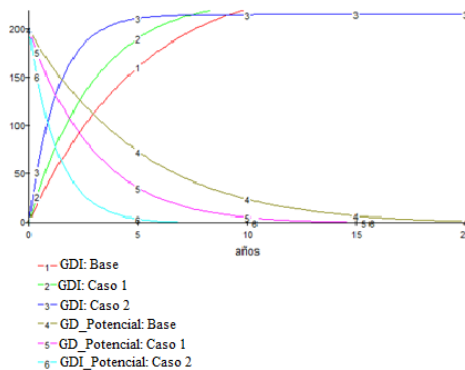


Figura 11. GDI, GD_Potencial vs. Tiempo: caso Base y caso 1

La rentabilidad mostrada en la figura 12 para el caso 2 tiene una pendiente más pronunciada que las rentabilidades de los casos anteriores, puesto que la suposición que se asumió para la remuneración técnica se basó, como se mencionó anteriormente, en

el servicio complementario del AGC, lo que puede ser un precio muy alto por prestar este servicio de control de reactivos.

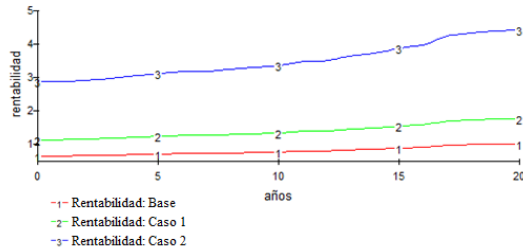


Figura 12. GDI, GD_Potencial vs. Tiempo: caso Base y caso 1

6. CONCLUSIONES

El control de tensión es un servicio complementario que tiene gran importancia en la operación, calidad y seguridad de un sistema eléctrico de potencia. Una alternativa que está siendo estudiada a nivel mundial para realizar control de tensión es a través de instalar GD. La GD ha comprobado su eficacia para aumentar la tensión y reducir las pérdidas de potencia activa y reactiva dentro de un área interconectada de influencia.

Las experiencias internacionales muestran que la GD necesita de incentivos económicos donde proyectos que no superan los 20 MW, les es difícil competir con los precios de comercialización manejados por las plantas de generación centralizadas [14].

En este artículo se propone un modelo de difusión de la GD en una zona operativa del sistema de potencia colombiano. El modelo permite analizar el efecto de los incentivos indirectos de la regulación colombiana, incentivos operativos que incluyan incentivos comerciales, ambientales y técnicos; donde sobresalen las mejoras en la regulación de tensión. Las simulaciones muestran que los incentivos ambientales permiten mejorar la rentabilidad, sin embargo, no son suficientes para lograr un crecimiento importante de la GD en el sistema colombiano. La solución propuesta es convertir la GD en una generación activa que contribuya al funcionamiento óptimo de las redes eléctricas a través de asumir un papel similar y complementario al de la generación centralizada. En este caso, remunerar las plantas de GD adicionalmente por prestar un servicio de soporte técnico, como es el servicio de control de tensión.

Los incentivos técnicos están condicionados a que el área operativa presente subtensiones, dado que en caso contrario puede empeorar el perfil de tensión, agravando la situación de calidad de la potencia.

Los incentivos comerciales y ambientales son fundamentales para que las plantas con capacidades

pequeñas y que utilicen fuentes renovables, puedan tener un desarrollo importante que logre impactar en el parque de generación colombiano.

7. REFERENCIAS

[1] BACON, R. W. and BESANT-JONES, J. "Global electric power reform, privatization and liberalization of the electric power industry in developing countries". Annual Reviews of Energy and the Environment, vol. 26, 2001, pp.331-359.

[2] KIRBY, B. and HIRST, E. "Ancillary Service Details: Voltage Control". The National Regulatory Research Institute Columbus. Ohio U.S, 1997, pp 1-20.

[3] VIAWAN, F. A. and KARLSSON, D. "Coordinated Voltage and Reactive Power Control in the Presence of Distributed Generation". Power and Energy Society General Meeting. - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008, pp 1-6.

[4] DÍAZ, A. Identificación y evaluación de un conjunto de medidas e incentivar la penetración de energía renovable en la generación de electricidad de Colombia. [Magíster Tesis]. Universidad de los Andes, 2007.

[5] ASSILI, M.; JAVIDI, M. and GHAZI, H... "An improved mechanism for capacity payment based on system dynamics modeling for investment planning in competitive electricity environment", Energy Policy, vol. 36, 2008, pp. 3703-3713.

[6] KUNDUR, P. "Power System Stability and Control", Impress United States, Mac Grow Hill, ISBN 0-07035958-X, 1994, pp.250-260.

[7] CREG, Resolución CREG 025 de 1995, "Código de Redes, Código de Planeamiento de la Expansión del Sistema de Transmisión Nacional", 1995.

[8] RAMÍREZ, S. and CANO, E. "Calidad del Servicio de Energía Eléctrica", Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, ISBN 958- 8280-02-8, 2006, pp 300-320.

[9] IEA, "Contribution of Renewable to Energy Security", 2007.

[10] Iberdrola Renovables S.A., "Iberdrola Renovables Logra Un Récord Histórico De Producción Eólica En Estados Unidos Durante El Segundo Trimestre De 2010", Disponible: <http://www.iberdrola.es/> [citado en Octubre de 2010].

[11] XM, Informe de operación del sistema y administración del mercado eléctrico colombiano, 2009

Available:

<http://www.xm.com.co/Pages/InformesEmpresariales.aspx> [citado, Agosto de 2010]

[12] RODRÍGUEZ, A. “La generación distribuida y su posible integración al sistema interconectado nacional”, Taller sobre generación distribuida, CREG 2009.

[13] STERMAN, J. Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a complex World. McGraw-Hill. ISBN 0-07-231135-5, 2009, pp 300-320.

[14] ZULUAGA, M. y DYNER, I. 2007. “Incentives for renewable energy in reformed Latin-American electricity markets: the Colombian case, Journal of cleaner Production. Volumen 15, pp 153 – 162.

7. CURRÍCULUM

Adriana Arango Manrique: Ingeniera electricista y estudiante de maestría en Ingeniería Eléctrica de la

Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Integrante del Grupo de Investigación en Redes de Distribución y Potencia (GREDYP) de la misma universidad. aarangoma@unal.edu.co.

Sandra Ximena Carvajal Quintero: Magíster en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, estudiante de doctorado en ingeniería. Docente de dedicación exclusiva de la misma Universidad. Dentro de sus campos de interés se encuentran la optimización aplicada, los sistemas de potencia y mercados eléctricos. sxcarvajalq@unal.edu.co.

Santiago Arango Aramburo: Profesor asociado desde 2009 de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Es ingeniero civil con maestría en Aprov. De Recursos Hidráulicos, y un PhD en la Universidad de Bergen, Noruega. Sus líneas de investigación son los mercados de energía a través de la simulación y economía experimental. Tiene un libro del Mercado Eléctrico Colombiano y publicaciones en revistas como Utilities Policy y Socio-Economic Planning. saarango@unal.edu.co.

Modelo de evaluación de esquemas de integración de mercados eléctricos

Model for assessment of the forms integration of electricity markets

Santiago Hoyos, Msc, Carlos Franco, Phd, Isaac Dyner, Phd
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia-Medellín
shoyos@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co, idyner@unal.edu.co

Resumen: La integración de mercados eléctricos trae entre otros los siguientes beneficios: uso integrado y eficiente de los recursos de generación y transmisión, aumento de la seguridad en el suministro, aprovechamiento de la complementariedad de la oferta y la demanda, incentivos para la inversión y desarrollo socioeconómico. Sin embargo, la integración de mercados eléctricos también tiene asociado un conjunto de problemas, entre los que se pueden citar algunos de ellos, la congestión de las líneas de transmisión, la distribución de las rentas de congestión, la valoración del nivel de integración entre los mercados, la selección de tecnologías para la expansión del sistema integrado. Con base en lo anterior, se describe en este artículo un modelo de simulación para la evaluación de esquemas de integración de mercados eléctricos, específicamente, se analizan las causas y los efectos del problema de la congestión.

Palabras clave: integración de mercados eléctricos, congestión, Dinámica de Sistemas.

Abstract: The benefits of integration electricity markets are: integrated and efficient use of generation and transmission resources, increased security of supply, use of the complementarity of supply and demand, incentives for investment and economic development. However, the integration of electricity markets also has an associated set of problems, among which we can mention some of them, the congestion of transmission lines, distribution of income from congestion, the assessment of the level of market integration, the selection of technologies for the expansion of the integrated system. Due to this, in this article described a model of assessment of

forms integration of electricity markets, specifically, it analysis causes and effects the congestion problem.

Key words: electricity market integration, congestion, system dynamics.

2 INTRODUCCIÓN

La electricidad ha soportado el desarrollo de actividades económicas, ha brindado confort y bienestar a las poblaciones [1-9]

Los gobiernos tuvieron el control, la vigilancia, la planeación y operación de los sistemas eléctricos de potencia, así como la administración de los mercados eléctricos [10-15]

En varios países el desarrollo socioeconómico de los años 90 estuvo soportado en la inversión para la construcción y expansión de los sistemas eléctricos de potencia, grandes centrales hidroeléctricas y líneas de transmisión [3-4, 7, 11, 15]

La electricidad forma parte del proceso de intercambio de bienes y servicios entre los países [10, 16-17] conocido específicamente como intercambios de potencia eléctrica. El cual se hace presente en mercados eléctricos integrados o en proceso de ello.

El sector eléctrico en el mundo ha cambiado significativamente en muchos países, de un modelo estatista (monopolista) hasta uno de competencia imperfecta (libertad) para su mercado. Lo anterior, como resultado de la compleja interacción entre política económica y avances tecnológicos, lo cual ha llevado a un proceso de liberalización y desregulación de mercados eléctricos [15-22].

El proceso de liberalización y desregulación de los mercados eléctricos ha confluído en la competencia

del mercado, la desintegración vertical y horizontal de las empresas, propiciando la integración de mercados eléctricos a nivel nacional, regional y supra-regional, con niveles mejores de calidad, confiabilidad y accesibilidad [3, 7, 11, 13, 22-23] donde la evolución de la capacidad de generación, la formación del precio y la confiabilidad del sistema ayudan a los decisores a evaluar las consecuencias de sus decisiones con relación a la evolución futura del mercado (integración).

Entre los beneficios de la integración de mercados eléctricos se pueden citar [24-26]: uso integrado y eficiente de los recursos disponibles de generación y transmisión; aumento de la seguridad en el suministro eléctrico a través de la diversificación del uso de los recursos; aprovechamiento de la complementariedad de las fuentes de generación y los consumos horarios entre diferentes sistemas nacionales, incremento del desarrollo económico sustentable mediante el suministro de energía eléctrica a menor precio y generación de riqueza, incentiva la inversión extranjera e incrementa la disponibilidad de recursos financieros adicionales para otros sectores de la sociedad.

¿Qué se entiende entonces por integración de mercados eléctricos? Es una de las preguntas que se aborda en profundidad en este artículo, dado que no existe una definición unificada del mismo.

Físicamente la red de interconexión entre dos sistemas eléctricos de potencia es de capacidad limitada, con lo cual se puede quedar generación atrapada a un lado de la línea o carga eléctrica no atendida del otro lado. Surge con ello entonces uno de los problemas más citados en la literatura sobre integración de mercados eléctricos, la congestión de las líneas de transmisión y distribución de su renta [16-20, 27-30]. Algunas preguntas asociadas a este problema son ¿cómo aliviar la congestión de la red? ¿El mecanismo de alivio de la congestión es eficiente económicamente? Preguntas que se abordan en este artículo.

Entre los mecanismos de alivio de la congestión que se encontraron en la literatura se tienen: las listas de prioridad, el prorrateo, el redespacho y las subastas implícitas y explícitas [31-43]. En este artículo se describe un modelo donde se puede observar la evolución de un mercado integrado (oferta, demanda, precio) y además se puede probar uno de los esquemas de integración citados.

3 HIPÓTESIS

Si bien existe un gran número de problemas asociados a la integración de mercados eléctricos, los cuáles definen una línea de investigación dentro del estudio de mercados eléctricos y más generalmente dentro de los mercados de energía, dichos problemas se pueden sintetizar en tres grandes frentes de trabajo, la definición del nivel de integración, la congestión de las líneas y el impacto de la integración sobre el desarrollo. En este artículo se describe un modelo para analizar el problema de la congestión y una solución convencional al mismo.

Se presenta a continuación en la Figura 63 un diagrama causal sobre la dinámica del problema de la congestión para un país, con base en modelos previos que tratan el tema de mercados eléctricos y Dinámica de Sistemas [44-53]. Se hace un análisis del diagrama por medio de los ciclos de realimentación que lo conforman así:

- R1: Ciclo de Refuerzo. Expansión de la Transmisión
- B1. Ciclo de Balance. Satisfacción de demanda
- B2. Ciclo de Balance. Expansión de la Generación

El ciclo de refuerzo R1 define la expansión del sistema de transmisión con base en el crecimiento de la demanda y al alivio de la congestión. El ciclo de balance B1 es precisamente el representante de la elasticidad de la demanda frente al precio. El ciclo de balance B2 regula el crecimiento de la generación. Lo anterior, como consecuencia del margen de reserva y su efecto sobre el precio y de éste sobre la demanda.

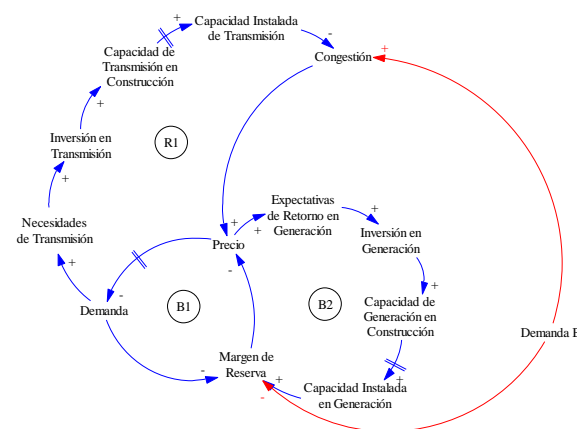


Figura 63. Diagrama causal general

La dinámica de evolución del mercado eléctrico para un país representado en el modelo de la Figura 63 1 es definida por el comportamiento del margen de

reserva, su efecto sobre el precio y la congestión de las líneas de transmisión por efecto de la demanda.

Se presenta a continuación en la Figura 64 el conjunto de ciclos de realimentación correspondientes a los intercambios comerciales de electricidad entre los mercados eléctricos de dos países.

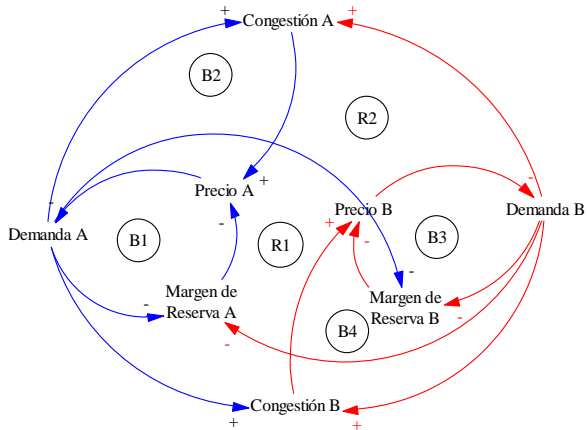


Figura 64. Relación entre dos países

Específicamente las relaciones de realimentación entre ambos países están determinados por los ciclos de refuerzo R1 y R2, los cuales definen el comportamiento del sistema integrado de potencia para garantizar los suministros eléctricos y aliviar la congestión.

4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En el modelo de simulación desarrollado se implementaron las listas de prioridad como esquema de alivio de la congestión para ser probado entre tres países. Debido a algunas limitaciones de acceso a información y además a que en este caso el interés fue analizar la consistencia del modelo, éste tiene datos hipotéticos muy cercanos a la realidad de Colombia, Ecuador y Panamá, suponiendo interconexiones entre los tres países como se observa en la Figura 65. El país A y el C tienen mayor participación hídrica en su canasta energética y el país B es contrario a los anteriores.

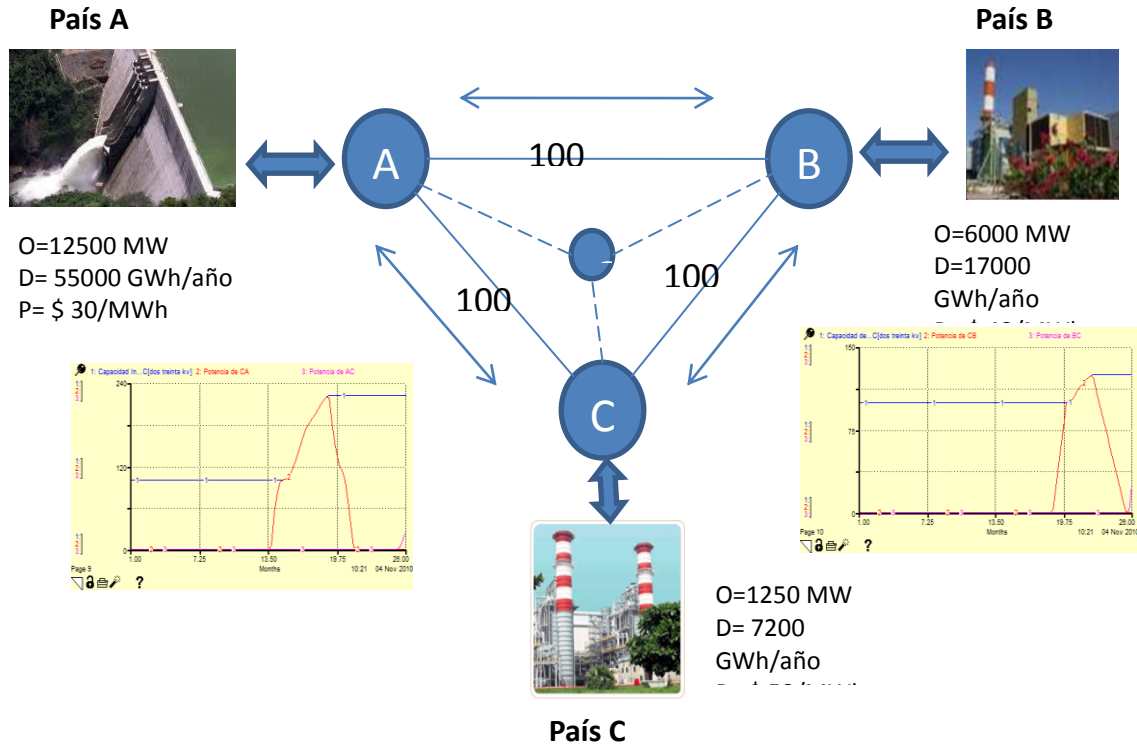


Figura 65. Caso de análisis

Los tres países tienen suficiente capacidad para atender su demanda durante los primeros 13 años de la simulación, a partir de allí comienzan los

intercambios energéticos debido a que el margen entre la oferta y la demanda se disminuye significativamente, causando un incremento de los

precios como se observa en la Figura 66. El precio de A oscila entre los 27 y 40 \$US/MWh, el precio promedio anual de la electricidad en los países B y C oscila entre 30 y 70 \$US /MWh.



Figura 66. Precio de la electricidad

Contrario a los países B y C, el país A realiza la expansión de su capacidad mayoritariamente de forma hidráulica, siendo ésta en gran parte la explicación del comportamiento de los precios. La transferencia de potencia entre los países A y B se observa en la Figura 67, la cual siempre es menor o igual a la capacidad disponible en la línea de interconexión. También se observa la evolución de la capacidad de la línea de transmisión de energía eléctrica entre ambos países, la cual evoluciona acorde con las necesidades de transmisión eléctrica.

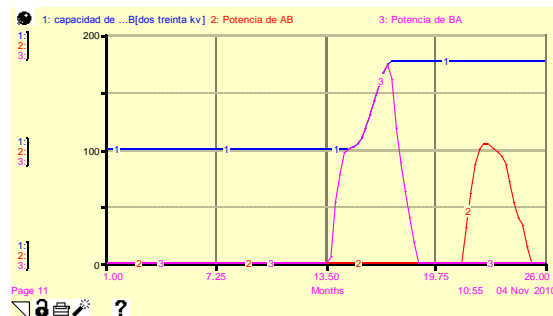


Figura 67 Transferencia de potencia entre A y B

Sobre la congestión en este caso se puede decir que está presente cuando uno de los países requiere electricidad y los otros dos pueden satisfacer dicho requerimiento. Entonces en este caso el operador del sistema -círculo o en el centro de la Figura 65- recibe las ofertas y las despacha por orden de solicitud de utilización de la capacidad de la línea de interconexión, como se observa en la Figura 68. Debe interpretarse un valor positivo de las variables en las curvas como la cantidad de energía que va del país B al C en el primer caso y del país C al A en el segundo

caso. Un valor negativo de las mismas es precisamente el intercambio de energía en el sentido contrario.

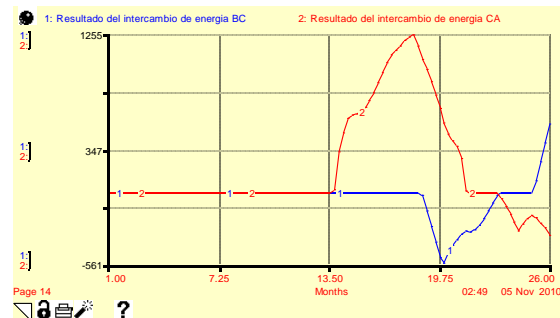


Figura 68. Intercambio de energía entre AC y BC

Se logra observar que hacia el final de la simulación se presenta un suministro de energía de los países A y B hacia el país C. es allí donde se presenta la congestión que se resuelve por medio de las lista de prioridad.

Se presenta en la Figura 69 la evolución de la oferta y la demanda de potencia del país A en todo instante de tiempo la capacidad de generación del sistema es superior a los requerimientos de la demanda, sin embargo hay periodos donde el margen entre éstos es estrecho, lo que lleva a importar energía de los otros países.



Figura 69. Capacidad de generación en A Vs Demanda de Potencia en A

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen muy especialmente al Centro de Excelencia en Modelamiento y Simulación de Fenómenos y Procesos Complejos (Ceiba) por su apoyo técnico y financiero.

REFERENCIAS

- [1] Departamento Nacional de Planeación DNP (1999). Plan Colombia. Sector de Energía. Bogotá.
- [2] Department For International Development. DFID. (2005) “Guías Sobre Medios de Vida Sostenibles MVS”. http://www.livelihoods.org/info/info_guidanceSheets.html Consultado en julio de 2005
- [3] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2003). Informe sobre desarrollo humano. 2003. <http://www.undp.org/dpa/spanish/energia.htm>.
- [4] World Bank. (2003) “Beyond Economic Growth. Meeting the Challenges of Global development”. <http://www.worldbank.org/depweb/beyondsp/contents.html>. 2003
- [5] ÁLVAREZ C., DYNER, I; CHERNI, J. SD. For assessing the contribution of energy to sustainable livelihoods in poor developing nations. Memories XXII International conference of system dynamics society. Boston. USA. 2005
- [6] FRANCO, C.; DYNER, I.; HOYOS, S. Evaluation of the Energization Impact in the Colombian Southwest. A Case of Application Using Simulation. The 24rd International Conference of the System Dynamics Society. July 23 - 27, 2006 – Nijmegen. Holanda. URL: <http://www.systemdynamics.org/conf2006/index.htm>
- [7] MILLÁN, J. Entre el mercado y el Estado: tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina. Departamento de desarrollo sostenible. Banco Interamericano de Desarrollo. Washintong. DC. 2006.
- [8] HOYOS, S. Evaluación de políticas para la electrificación de zonas no interconectadas en Colombia: Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- [9] FRANCO, C.; DYNER, I.; HOYOS, S. Contribución de la energía al desarrollo de comunidades aisladas no interconectadas: Un caso de aplicación de la Dinámica de Sistemas y los medios de vida sostenibles en el Suroccidente Colombiano. Revista Dyna. 154 Ed. marzo de 2008.
- [10] GARCÍA, J & PALACIOS, C. La integración del mercado eléctrico de los países nórdicos – NordPool- Lecciones para otros mercados.2005
- [11] SIOSHANSI, F & PFAFFENBERGER, W. Why Restructure in Electricity Markets? Electricity market Reform: An International Perspective. Edited by Sioshansi & Pfaffenberger. Elsevier. London. Great Britain.2006
- [12] RUDNICK, H.; VAN DE, W. Use of system approaches for transmission open access pricing. Electrical Power & Energy system. ELSEVIER.1999.
- [13] LARSEN, E. & BUNN, D. Deregulation in electricity: understanding strategic and regulatory risk. Journal of the Operational Research Society, 50(4), 337-344.1999.
- [14] ARANGO, S.; DYNER, I.; LARSEN, E. Lesson from the regulation in South America: Understanding hydro based electricity markets. Utilities Policy.2006
- [15] DYNER, I. & GARCÍA, M. El sector eléctrico estadounidense. Oportunidades para la exportación de energía a Estados Unidos más allá del TLC. Editado por García Mario. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas. Bogotá. Colombia.2009
- [16] STOFT, S. Power System Economics: Designing Markets for Electricity. Wiley Inter-Science. IEEE. 2002
- [17] MANKIW, G. Principios de Economía. 4ta Ed. Paraninfo Cengage Learning. Madrid España.2008.
- [18] BOISSELEAU, F. The rol of power exchanges for the creation of a single Europe Electricity Market: market design and market regulation. Thesis for doctoral in sciences economics. In the Université Paris IX. Edit in. Delft University Press. Netherlands.2004.
- [19] BOWER, J. & DEREK, B. Experimental analysis of the efficiency of uniform – price versus discriminatory auctions in the England and Wales electricity market. Journal of Economic Dynamics & Control.2002.
- [20] BUNN, D. & GIANFREDA, A. Integration and shock transmissions across European electricity forward markets. Energy Economics. 2010.
- [21] OJEDA, O.; OLSINA, F.; GARCÉS, F. Simulation on the long – term dynamic of a market – based transmission interconnection. Energy Policy. 2009.

- [22] JOSKOW, P. Electricity sector liberalisation: lessons learned from cross-country studies. In: Sioshansi, F.P., Pfaffengerger, W. (Eds.), Electricity Market Reform: An International Perspective. Elsevier Global Energy Policy and Economics Series, St. Louis, pp. 1–32.2006
- [23] PIGNON, V.; HERMON, F.; CEPEDA, M. and POUPART, X. “Investment criteria for generation capacity and interconnections in a regional electricity markets”. Presented at infradays 6th Conference on applied Infrastructure Research, Berlin, October 2007.
- [24] WOOLF, F. Global Transmission Expansion: Recipes for Success. PennWell, Tulsa. 2003
- [25] World Energy Council. «Regional Energy Integration in Latin America and the Caribbean Executive Summary.» Londres, 2008.
- [26] ZANONI, J. “La Integración energética latinoamericana”. Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura, 1999: pp. 255-26. 1999.
- [27] HOGAN, W. Financial transmission right formulations. Center of Business and Government John F. Kennedy School of Government Harvard University Cambridge, Massachusetts. 2002.
- [28] JERKO, C. A.; MJELDE J. W., and BESSLER, D. A. Identifying Dynamic Interactions in the Western US, in Bunn D. (2004), part III section 9. 2004
- [29] CEPEDA, M.; SAGUAN, M.; VIRGINE, P. Generation adequacy and transmission interconnection in regional electricity markets. Working paper No 15. Noviembre de 2008. Laboratorio de Análisis Económico de Sistemas Energéticos (Larsen). Francia. 2008.
- [30] SINGH, H. “Transmission markets, Congestion Management, and investment”. Competitive Electricity Markets. Design, Implementation, Performance. Elsevier. London. Great Britian. Edited by. Sioshansi Fereidoon. 2008.
- [31] NEWBERY, D.; ERIC, VAN D.; NILS-HENRIK, M. “Benelux market integration: Market power concerns”.2003.
- [32] GJERDE, O.; BOGAS, J. Al DiCaprio, Fosso B, Cisneiros S, Uusitalo M. “Congestion Management: The System Operators Challenge to Balance Transmission Transfer Capacity with an Acceptable Security Level”. 2005
- [33] GARCÍA, A.; ARBELÁEZ, L. Market Power Analysis for the Colombia Electricity Market. Energy Economics. Elsevier.2002.
- [34] APEX. “Energy Viewpoints”. Market Coupling: Key to EU PowerMarket Integration. Noviembre de 2007.
- [35] APEX. “Energy Viewpoints”. Market Coupling: A Preferred Solution for Cross-Border Power Capacity Utilization. 2007.
- [36] CORNWALL, N. Achieving Electricity Market Integration in Europe. Competitive Electricity Markets. Design, Implementation, Performance. Elsevier. London. Great Britian. Edited by. Sioshansi Fereidoon.20008.
- [37] CRETÍ, A. Fumagalli E, Fumagalli E, Squicciarini G. “Market coupling: looking at the future of the Italian Power Exchange”. 2008.
- [38] DYNER, I.; OCHOA, P.; BEDOYA, L.; ARANGO, S.; FRANCO, C.; VARGAS, B. "Energiz: strategy and risk management in electricity trading." En: Estados Unidos. 2001. Evento: The 19th International Conference of the System Dynamics Society Ponencia: Libro: Proceeding of the 19th International Conference of the System Dynamics Society, System Dynamics Society, p.1 - 15.
- [39] DYNER, I.; FRANCO, C.; ARANGO, S. El mercado mayorista de electricidad colombiano. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 1 Ed. Medellín Colombia. 2008.
- [40] EHRENMANN, A.; YVES S. “Inefficiencies in European congestion management proposals”. 2005.
- [41] FINNON, D. & ROMANO, E. Redistribution effect versus resource reallocation. Energy Policy. 2009.
- [42] ETSO. “An Overview of Current Cross-border Congestion Management Methods in Europe”. Mayo de 2006.
- [43] SIERRA, J.; JARAMILLO, A. “Aproximación a un análisis económico del comportamiento de los agentes en el modelo de Market Splitting para las transacciones internacionales de electricidad mediante teoría de juegos y el uso de la conjetura Bertrand – Edgeworth”. 2008.
- [44] DYNER, I.; ARANGO, S. Y FRANCO, C. Can a Reliability Charge Secure Electricity Supply? An SD-based assessment of the Colombian power market. The 2007 International

Conference of the System Dynamics Society and 50th Anniversary Celebration July 29 – August 2, Boston, Massachusetts, USA.

- [45] FORD, A. A method for approximating the value of demand-side information. *Energy Systems and Policy*, 13, 135-151.1999.
- [46] FRANCO, C.; DYNER, I.; SMITH, R.; BEDOYA, L.; ARANGO, S.; MONTOYA, S.; OCHOA, P. Microworld for training traders in the Colombian electricity market. *Proceedings of the 18° International Conference. Sustainability in the Third Millenium*. Bergen Norway. System Dynamics Society. 2000.
- [47] FRANCO, C. & BECERRA, D. Un estado del arte para el modelado de señales de expansión de generación en mercados de electricidad. *Reflexiones y aplicaciones de la Dinámica de Sistemas en Colombia*. VI Congreso colombiano de Dinámica de Sistemas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2008.
- [48] FRANCO, C. & CARDONA, D. Micromundo para la simulación de una bolsa de energía. *Reflexiones y aplicaciones de la Dinámica de Sistemas en Colombia*. VI Congreso colombiano de Dinámica de Sistemas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.2008.
- [49] LARSEN, E.; DYNER, I.; BEDOYA, L.; FRANCO, C. Lesson from deregulation in Colombia: successes, failures and the way ahead. *Energy Policy*. Elsevier. 2004.
- [50] MARTÍNEZ, J.; USAOLA, J.; FERNÁNDEZ, J. “Tesis: Resolución de restricciones técnicas en la programación diaria de la generación mediante descomposición de benders”. 2004.
- [51] NARANJO, E. “Tesis: Análisis de la implementación de decenralised market coupling (DMC) con múltiples sistemas.” Madrid, julio de 2005.
- [52] OLSINA, F.; GARCÉS, F. H-j Hubrich. *Modelling long-term dynamics of electricity markets*. *Energy Policy*.2006.
- [53] VOGSTAD, K.; BOTTERUD, A.; MARIBU, K.; JENSEN, G. The transition from fossil fuelled to a renewable power supply in a deregulated electricity market. *20th International System Dynamics Conferences*. Palermo Italy. 2002.

Modelo financiero aplicado a una generadora térmica a gas

Financial model applied to generating gas thermal

Juan Gregorio Solano, Mónica Velásquez, Diego Gómez

Centro de Estudios en Economía Sistémica ECSIM, investigador3@ecsim.org, gerencia@ecsim.org, direccion@ecsim.org

Resumen: El objetivo más importante para las empresas es la maximización de su valor empresarial, el cual puede ser medido entre otros factores por la capacidad de producir y competir en un mercado nacional que se hace cada vez más turbulento e incierto; esto lleva a pensar en la importancia de prever y minimizar los riesgos en la toma de decisiones, principalmente las que impactan financieramente.

Así, se infiere que el objetivo de los modelos financieros es llegar a reflejar el comportamiento actual, en este caso de una térmica a gas, y a través de diferentes escenarios mostrar los resultados que se obtienen a partir de los comportamientos de las variables y con base en éstos tomar decisiones que garanticen el buen funcionamiento. Cabe aclarar que estos modelos no pretenden predecir el comportamiento financiero, su uso está dado para ver proyecciones o tendencias que ayuden a tomar una posición más racional según el entorno que se esté presenciando.

Palabras clave: finanzas, variables, escenarios, relación, térmicas a gas.

Abstract: The most important objective for the companies is the maximization of its managerial value which can be measured among other variables, for the capacity to take place and to compete in a more and more turbulent and uncertain national market; This makes to think of the importance of foreseeing and minimizing the risks on making decisions, especially those that impact financially to the company.

It is inferred that the objective of the financial models is to reflect the current behavior of a Gas Thermal through different scenarios, to show the results that

are obtained due to the behaviors of the variables, and with base in this behavior, to make decisions that guarantee the good operation. It is necessary to clarify that these models don't expect to predict the financial behavior, because their use is given to see projections or tendencies that help to take a more rational position according to the situation.

Key words: finances, variables, scenarios, relation.

5 INTRODUCCIÓN

Las empresas tienen por objetivo maximizar su valor empresarial, éste puede ser medido por la capacidad productiva y competitiva dentro del mercado internacional, el cual es cada vez más turbulento e incierto. En este sentido, es de importancia prever y minimizar los riesgos que se dan en la toma de decisiones, principalmente las de impacto financiero.

En los modelos financieros se manejan tanto variables macroeconómicas como variables del sector productivo. Una vez identificadas, se definen las relaciones que éstas puedan tener con los conceptos financieros pero sin llegar a un nivel de detalle muy profundo, aunque se deben dejar claras todas las relaciones relevantes que se puedan encontrar. Así, siguiendo el proceso anterior, se procede a modelar en Dinámica de Sistemas y se validan los resultados utilizando diferentes recursos, como la asesoría de expertos, la observación de libros contables y la revisión de las proyecciones existentes de la empresa.

Se manejará el caso de las plantas generadoras térmicas a gas. La principal motivación corresponde a alzas de los precios del kWh, presentadas en los periodos comprendidos entre enero y mayo del 2010

debido a los bajos aportes hidroeléctricos en el sistema eléctrico.

Es claro que los precios de la electricidad se encuentran entre los más volátiles de todos los bienes transados en el mercado mundial, alcanzando valores por encima del 100% [1], por la inestabilidad no propia de un mercado particular, sino de todos los mercados eléctricos; razón por la cual se vio la necesidad de estudiar el comportamiento financiero de las plantas de generación térmica, con el propósito de aprovechar este tipo de eventos.

6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO

Como punto de partida es de gran importancia tener claro qué variables y qué relaciones se van a tener en el Modelo de Simulación Dinámica. Para identificarlas, es necesario saber el grado de importancia que tienen las variables a la hora de ser modeladas, esto con el fin de hacer un modelo más limpio, que sea capaz de reflejar un comportamiento real, con un grado de complejidad no muy alto pero sin dejar de lado las relaciones esenciales que plasmen de manera consistente la realidad. En este orden de ideas, se hará un supuesto básico sobre la forma en la cual las plantas de generación térmica obtienen sus beneficios por sus actividades operativas [5] [6] [8].

Ingresos operativos: se limitarán los ingresos por la venta de energía en un mercado mayorista, la cual es pagada en ese momento a precio de Bolsa.

Costos operativos: son aquellos formados por el manejo del commodity (gas) [1], como lo es: la compra, el costo por el transporte (costo fijo) y el costo por uso (costo variable). Adicionalmente se manejarán unos costos de operación y mantenimiento (O&M).

Gastos operativos: únicamente se utilizarán los gastos por concepto de personal, y por concepto de Impuestos, Tasa y Contribuciones (ITC), serán modelados el Impuesto de Industria y Comercio y el Impuesto por Fiscalización, ambos se calculan sobre un porcentaje de los ingresos operacionales.

De esta manera, y teniendo definido los módulos de ingresos y egresos, se procede a detallar de cada módulo las variables relevantes que hacen un aporte significativo en el modelo, pero antes de ello es importante resaltar la clasificación de cada variable, como se explica a continuación:

- Variables Económicas (VE): reflejan el comportamiento de un país [3]; esto lo podemos observar en los siguientes conceptos: Tasa Representativa del Mercado (TRM), Producto Interno Bruto (PIB), Índice de Precio al Productor (IPP) e Índice de Precio al Consumidor (IPC).
- Variables Sectoriales (VS): reflejan el comportamiento de la industria, y se relacionan con los volúmenes de producción, volúmenes de venta, planes de expansión, precios etc.
- Variables Financieras (VF): reflejan las decisiones internas que se toman con el comportamiento económico del sector [2], las cuales pueden ser: tasas de interés, días de cartera, manejo de caja mínima, entre otras.

Las variables definidas en el módulo de ingreso son las siguientes:

- Capacidad (VS).
- Factor de planta (VS).
- Precio de Bolsa.
- Demanda térmica.

Las variables definidas en el módulo de egresos (Costos y Gastos)

- Precio del gas.
- Costo capacidad (costo fijo)
- Uso gasoducto (costo variable)
- Costo O&M (VS)
- Gastos (VS)

Ya definido esto, se procede a precisar el comportamiento de cada variable. Como el objetivo de este modelo es observar el comportamiento financiero [2] de una empresa térmica bajo ciertos escenarios, no se entrará en detalle en el cálculo de los precios de la energía y del gas, esto será limitado a una regresión basada en datos históricos para encontrar una tendencia en el corto plazo, además de ello, se usarán las variables económicas con el fin de incrementar ciertos costos acorde al comportamiento del país. Con lo mencionado anteriormente llegamos al siguiente Diagrama Causal “Figura 1”.

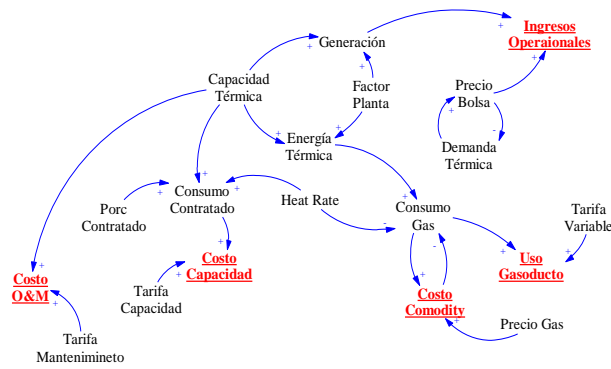


Figura 1. Diagrama Causal Ingresos y Egresos Operativos.

Con base en los cálculos de Ingresos, Costos y Gastos expuestos previamente, se concluye el comportamiento Operativo de la empresa “Figura 2”.



Figura 2. Estructura Utilidad Operativa.

Ahora, se procede a modelar y definir el comportamiento no operativo de la empresa, para ello, se empieza con los gastos generados por las depreciaciones, provisiones, intereses y finalmente Impuesto de Renta [9].

Para el concepto de depreciaciones, se trabajará un valor hipotético, el cual será mensualizado para efectos del modelo, además, con la creación de nuevos proyectos para el mejoramiento de la operatividad de la planta térmica, se crearán nuevas depreciaciones por dichos proyectos. Para las nuevas depreciaciones se trabajará con una vida útil de 7 años (tiempo de depreciación), el cual estará ligado al monto de inversión.

En la “figura 3” se muestra el diagrama causal con los bucles asociados a las inversiones y depreciaciones.

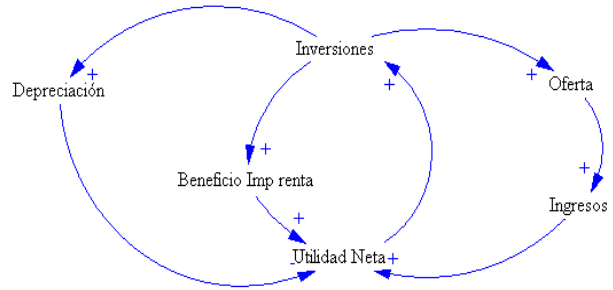


Figura 3. Diagrama causal inversiones y depreciaciones

En cuanto a provisiones, éstas corresponden a un porcentaje de las cuentas por cobrar.

De igual manera, el manejo de los intereses se hará sobre un monto inicial de créditos, el cual se multiplica a una tasa de interés mensual basada en un histórico del Depósito a Término Fijo (DTF). Finalmente se obtiene el Impuesto de Renta, que es calculado con la utilidad antes de impuestos más los costos y gastos no deducibles (porcentaje de los costos y gastos operacionales).

Así, y a partir de lo mencionado anteriormente, se llega a la elaboración del Estado de Resultados (PyG) [2] para la planta Térmica Tabla 1.

Tabla 1. Estructura Básica del PyG

Ingresos	
Costos	
	Utilidad Bruta
Gastos	
ITC	
	Ebitda
Depreciaciones	
Provisiones	
	Ebit
Gastos Financieros	
	Utilidad Antes de Impuestos
Impuesto de Renta	
	Utilidad Neta

Adicionalmente, dada la motivación por encontrar un mecanismo que sirva para realizar un estudio de políticas y estrategias [4], se elaborará una estructura de caja “figura 4”, la cual presentará una interacción entre las entradas y salidas generadas por el ejercicio. Teniendo por entradas los siguientes conceptos:

- ❖ Efectivo generado en la Operación: resultante entre el Ebitda [2], y la variación del capital de trabajo.
- ❖ Neto de gastos financieros: diferencia entre los ingresos por rendimientos financieros (se obtienen al transferir los excedentes de caja a una cuenta de inversiones, la cual genera unos rendimientos a una tasa fija y los egresos presentados por el pago de tesorería.
- ❖ Préstamos de Tesorería (Roll-over): préstamos que se crean en el momento en el cual la caja está por debajo del valor de seguridad, “Caja mínima”, generando consigo un déficit que permita una adecuada operación.

Y como salidas:

- ❖ Pago de Dividendos: se deducen del 40% de la Utilidad Neta.
- ❖ Pago de Inversiones: valor total de las inversiones sumadas a las variaciones de las cuentas por pagar a contratistas.
- ❖ Total pago por préstamos de Tesorería: pago total del préstamo al mes siguiente de haberse solicitado.

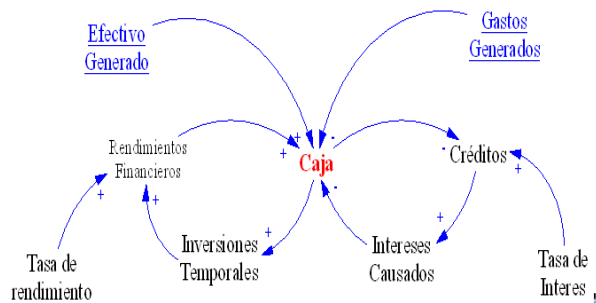


Figura 4. Diagrama causal Manejo de Caja

7 DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

Se trabaja el primer escenario con un factor de planta del 60% y el precio de venta de energía corresponde al precio hallado con los valores históricos para el largo plazo. Para el segundo escenario se simulan fuertes veranos que impactan la demanda en la

generación térmica y a su vez un aumento en el precio del kWh.

Posteriormente, se evalúan los impactos que puede tener la decisión de llevar a cabo nuevos proyectos que aumenten la capacidad instalada de la térmica (repotencialización de turbinas, adquisición de nuevas tecnologías, etc.). Esto es aplicado a los escenarios anteriormente planteados, 1 y 2, obteniendo así dos nuevos escenarios, 3 y 4.

8 MODELACIÓN

Se toman 120 períodos de simulación (10 años), de los cuales 24 corresponden a períodos de emulación y calibración. Se usa una capacidad instalada inicial de 300 MW, un factor de planta del 60% y un Head Rate [7], de 7.2 MBTU/MW para el comportamiento operativo de la planta de generación térmica. Además, se empleó iThink® como herramienta de simulación.

Con el fin de mostrar los resultados financieros anualmente, se diseñó una estructura de Stock de acumulación cada 12 períodos “figura 5”.

Las siguientes fueron las unidades usadas para el manejo del gas; MBTU [5] para la compra de combustibles y kpc [5] para los costos por transporte y costos por uso.

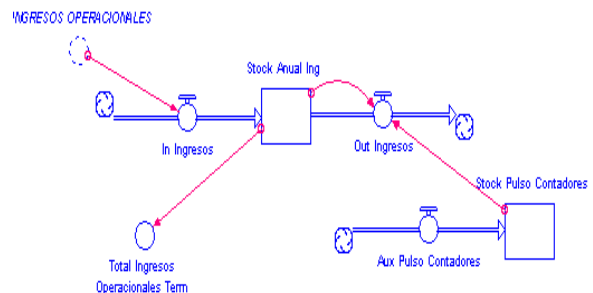


Figura 5. Estructura de acumuladores anuales

Finalmente, se crea una interfaz “Figura 6”, la cual permite hacer una navegación por los resultados financieros, gráficas y escenarios y variables de decisión asociadas a los resultados financieros. Esto con el propósito de observar los resultados en los escenarios planteados en el punto 3 del documento.

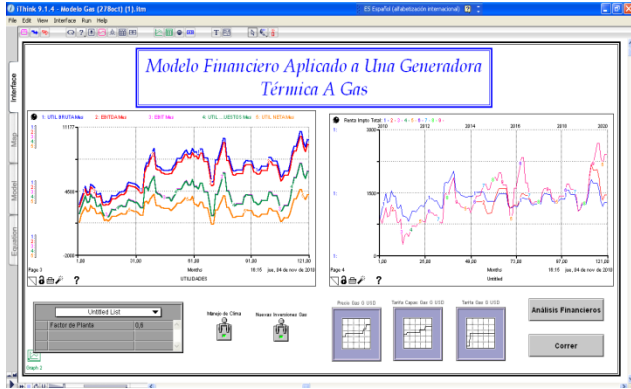


Figura 6. Interfaz de salida

9 RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados financieros para cada escenario. Las cifras del escenario 1 serán importantes para comparar la bondad de los diferentes escenarios planteados.

9.1 ESCENARIO 1

Para este escenario se tiene la siguiente estructura de Ingreso y Costos “Figura 7”.

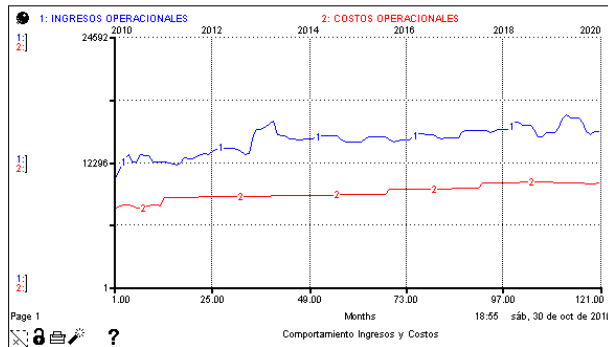


Figura 7. Comportamiento de ingresos y costos

Se presenta un ingreso acumulado de 1.746.756 millones de pesos y unos costos por 1.122.301 millones de pesos, de los cuales 882.423 son por la compra del commodity, 170.185 por costos variables, 33.635 por uso del gasoducto y 36.056 por concepto de operación y mantenimiento.

Llevando consigo a los siguientes valores acumulados para las diferentes utilidades (en millones de pesos).

Utilidad Bruta: 624.655

Utilidad Operativa: 586.132
 Utilidad antes de Impuestos: 432.699
 Utilidad Neta: 271.613

Y un comportamiento para los márgenes representados en la “figura 8”.

Margen bruto: 35.5%
 Margen Operativo: 33.3%
 Margen Antes de Impuestos: 24.7%
 Margen Neto: 15.5%

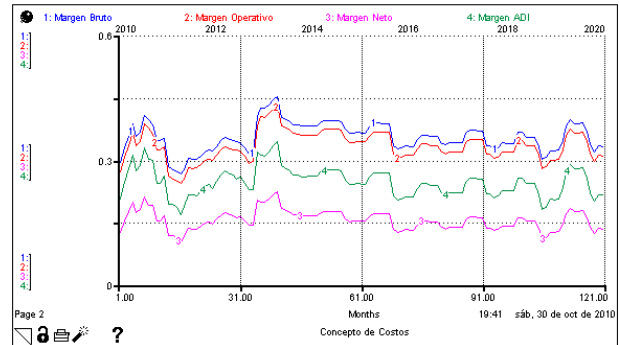


Figura 8. Comportamiento de los márgenes.

9.2 ESCENARIO 2

Simulando bajo el supuesto de ocurrencia de leves veranos en el transcurso de los 10 años de simulación, se tiene la siguiente estructura de Ingresos y Costos “figura 9”.

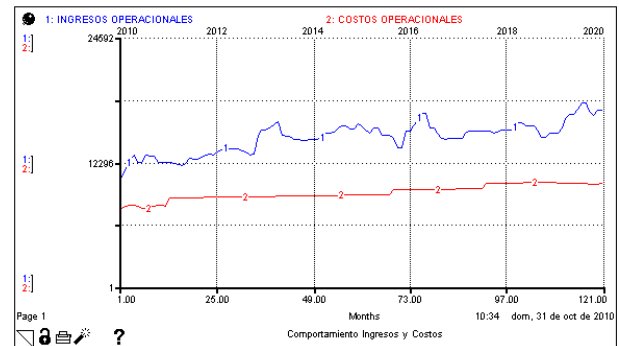


Figura 9. Comportamiento de ingresos y costos.

Para este escenario se llega a un ingreso acumulado de 1.784.327 millones de pesos, lo que representa un aumento del 2% respecto a los ingresos del escenario 1, “figura 10”. Donde la línea azul muestra el primer escenario y la línea roja el segundo escenario.

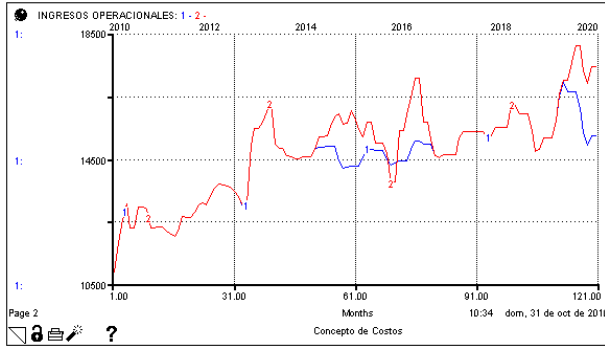


Figura 10. Comparativo de Ingresos, entre el escenario 1 y 2.

Dado el incremento en el ingreso operativo se tiene el siguiente valor de las utilidades.

Utilidad Bruta:	660.026
Utilidad Operativa:	623.064
Utilidad antes de Impuestos:	474.072
Utilidad Neta:	296.347

Margen bruto:	36.7%
Margen Operativo:	34.5%
Margen Antes de Impuestos:	26.1%
Margen Neto:	16.4%

Para el desarrollo de los escenarios 3 y 4 se simula un proyecto de repotencialización para la planta térmica, la cual incrementa la capacidad instalada en 100 MW, los cuales serán asignados en períodos anulares de 20 MW, de esa manera la capacidad instalada será de 400 MW para el 2015, “figura 11”.

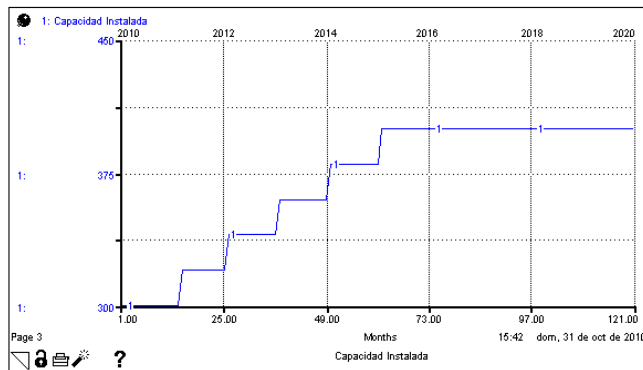


Figura 11. Devolución de la Potencia instalada

Dicha repotencialización tendrá un costo de 87.2 millones de dólares, el monto de la inversión será costeado en un 100% por recursos propios, lo que verá impactado el comportamiento de caja.

9.3 ESCENARIO 3.

Con la nueva estructura de capacidad y en condiciones normales se tiene la siguiente estructura Ingresos y Costos, “figura 12”.

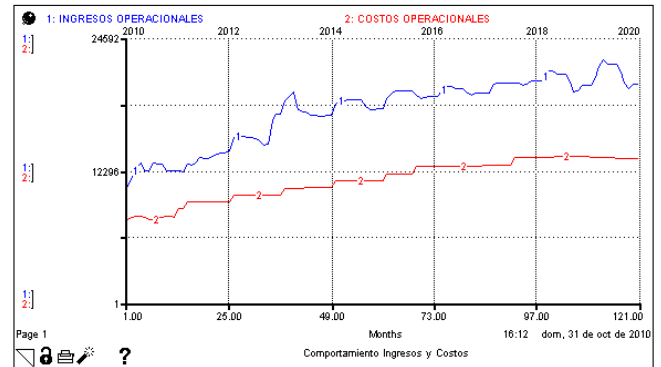


Figura 12. Comportamiento de ingresos y costos

En este escenario se tiene un ingreso acumulado de 2.165.283 millones de pesos, ingreso que se incrementó en un 19.3% respecto al escenario 1, “figura 13” y costos por 1.381.596 millones de pesos, de los cuales 1.093.057 por compra del commodity, 210.793 por costos variables, 41.690 por uso del gasoducto y 36.056 por concepto de operación y mantenimiento.

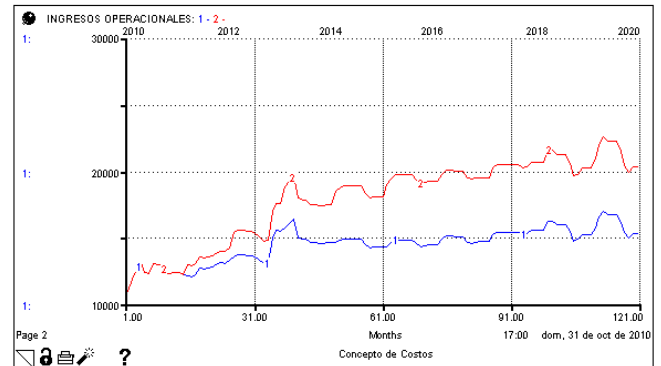


Figura 13. Comparativo de Ingresos entre el escenario 1 y 3.

Por otro lado, antes de observar el comportamiento de la Utilidad Neta y el margen asociado, es importante evaluar el comportamiento del Impuesto de Renta, el cual está ligado directamente a las inversiones realizadas, con base en ello se tiene la siguiente gráfica comparativa “Figura 14”.

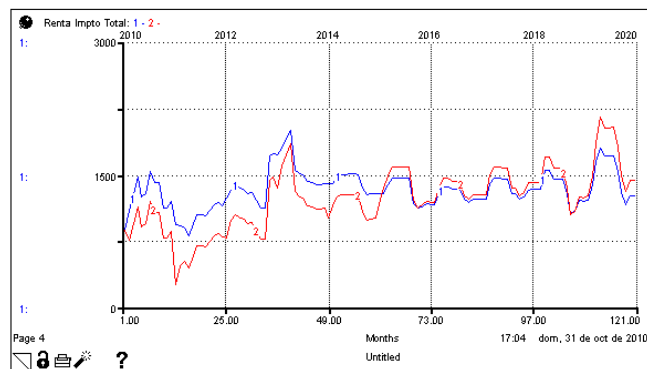


Figura 14. Comparativo Impuesto de Renta entre el escenario 1 y 3.

Se observa que hasta el año 2015 se paga un menor valor por Impuesto de Renta, ello debido al beneficio obtenido por las inversiones realizadas en la repotencialización de la planta. Luego de ese año, se incrementa el monto a pagar por el aumento en los ingresos generados por la ampliación en la capacidad instalada

Así, se tienen los siguientes valores para las utilidades (en millones de pesos) y los márgenes:

Utilidad Bruta:	783.686
Utilidad Operativa:	738.248
Utilidad antes de Impuestos:	443.124
Utilidad Neta:	294.621

Margen bruto:	36.0%
Margen Operativo:	33.9%
Margen antes de Impuestos:	20.6%
Margen Neto:	13.9%

9.4 ESCENARIO 4.

Bajo los supuestos creados para este escenario se llega a unos ingresos de 2.214.690.61 millones de pesos. Lo cual representa un aumento con respecto al escenario 1 de 21.1%

Finalmente se obtienen los siguientes márgenes

Margen bruto:	37.2%
Margen Operativo:	35.1%
Margen Antes de Impuestos:	22.1%
Margen Neto:	14.9%

9.5 COMPARATIVO ENTRE ESTRATEGIAS

A continuación se presenta el comparativo de los ingresos, donde el número en la gráfica asocia el escenario evaluado, “figura 15”.

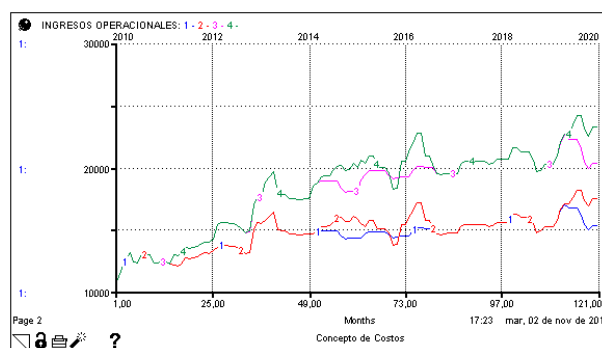


Figura 15. Comportamiento de ingresos y costos

Los ingresos presentan el mismo comportamiento para el primer año, sin embargo este comportamiento cambia en el período que se da la entrada al primer proyecto de repotencialización. Así, se tiene la siguiente tabla con la variación porcentual del ingreso por escenario. **Tabla 2.**

Tabla 2. Variación porcentual de los ingresos por escenario

Escenario	1	2	3	4
1	x	-2.2%	-19.3%	-26.8%
2	2.1%	x	-17.6%	-24.1%
3	19.3%	17.6%	x	-2.3%
4	21.1%	19.4%	2.2%	x

Con base en la relación porcentual de ingresos de la tabla 2 se llega a la conclusión que los escenarios 3 y 4 presentan los mejores ingresos entre todos los escenarios, pero para llegar a una conclusión global que asegure que dichos escenarios son los más atractivos se tiene que evaluar la relación porcentual de la Utilidad Neta y el comportamiento de los márgenes. De esa manera, con las utilidades obtenidas al final del ejercicio, se tiene la **Tabla 3**

Tabla 3. Relación porcentual de la Utilidad Neta entre escenarios

Escenario	1	2	3	4
1	x	-9.1%	-7.8%	-20.4%
2	8.3%	x	0.6%	-10.4%
3	7.8%	-0.6%	x	-11.0%
4	17.0%	9.4%	9.9%	x

Basados en los resultados comparativos de la Utilidad Neta y los Ingresos Operacionales se observa que los escenarios 2 y 4 presentan el mejor comportamiento,

ello argumentado para el escenario 2 en el aumento del precio del kWh, y para el escenario 4 en el aumento de la capacidad instalada, lo que lleva consigo un incremento en la generación y un mayor beneficio en el pago del Impuesto de Renta, “figura 16”.

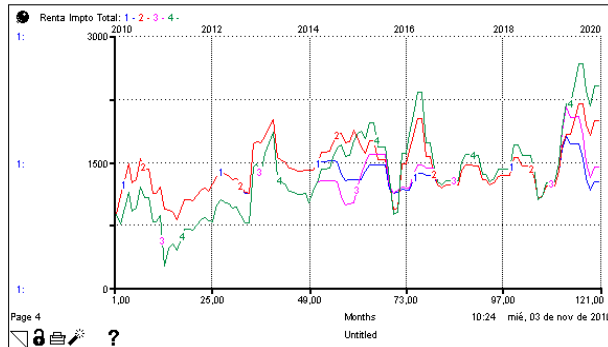


Figura 16. Comportamiento del pago del Impuesto de Renta, entre los escenarios planteados.

Finalmente, analizando el comportamiento de los márgenes, “figura 17”, se concluye que los escenarios 2 y 4 son aquellos que garantizan un mayor beneficio.

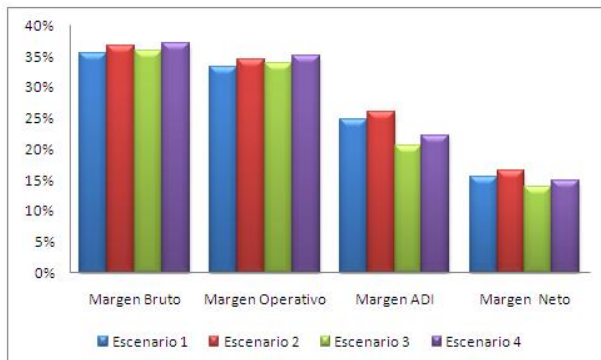


Figura 17. Comportamiento del valor de los márgenes

10 CONCLUSIONES

Dada la amabilidad, simplicidad y manejo de la interfaz, se hace atractivo para el mercado el uso de estas metodologías para llevar a cabo el estudio de tendencias y proyecciones financieras.

La estructura elaborada para el modelo financiero presenta un comportamiento acorde al mercado real, lo cual permite correr el modelo en varias situaciones “Escenarios” y observar y estudiar las tendencias

presentadas, y posteriormente llevar a cabo un estudio más profundo.

Es importante resaltar que ciertas entradas del modelo fueron manejadas con datos hipotéticos basados en la literatura y en resultados de regresiones lineales, por lo que se hace interesante proponer un manejo detallado para cada concepto, como puede ser el manejo de estructuras para el cálculo de precios. De igual manera, el manejo de un mercado secundario, esto con el propósito de definir un nivel más exacto en el comportamiento del mercado térmico en Colombia.

Una estructura financiera modelada adecuadamente permite llevar a cabo un estudio preciso sobre aquellos conceptos relevantes para la organización, cabe mencionar que cada modelo financiero tiene un comportamiento similar, lo que difiere es el grado de complejidad con el que se puntualizan ciertos conceptos, esto lo definen los intereses de aquellas personas que lo usen en un sector particular.

En el mismo sentido, se destaca que las inversiones de repotencialización analizadas en el modelo son costeadas en un 100% por recursos propios, sin embargo en mercados reales, las empresas buscan costear dichos proyectos mediante préstamos a largo plazo, lo cual implica realizar una estructura más detallada para el módulo de préstamos, desembolsos y amortizaciones, con el fin de analizar el impacto en la utilidad neta, que lleva la toma de decisiones sobre cuál préstamo tomar, así como las tasas y los plazos de pago.

11 REFERENCIAS

- [1] DYNER, Isaac; FRANCO, Carlos; ARANGO, Santiago. El mercado mayorista de electricidad colombiano. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín Colombia. Noviembre 2008.
- [2] DUMRAUF, Guillermo. Finanzas corporativas. Alfaomega. México. Enero 2006. pp 52-59
- [3] RÓBINSON, Jaime; URRUTIA, Miguel. Economía colombiana del siglo XX: un análisis cuantitativo. Fondo de Cultura Económica. Colombia 2007
- [4] GITMAN, Lawrence. Principios de administración financiera. Pesaron Educación. 2003 pp 92.

[5] SOLANO RODRÍGUEZ, Juan. Modelamiento de la demanda de gas del sector térmico colombiano y de su participación en el mercado de gas natural [Pregrado]; Universidad Nacional, Medellín, 2009.

[6] CAYO, Juan Miguel. Gas Natural: perspectivas para el mercado nacional y exportación. Presentación mayo de 2005.

[7] Heat Rate: <http://www.energyvortex.com> [Citado 12 de Junio 2010].

[8] Ministerio de Minas y Energías: // <http://www.minminas.gov.co/minminas> [Citado 04 de Marzo 2010]

[9] Impuesto de Renta:// <http://www.aplegis.com/documentosoffice/JUANCA MILOSERRANO.pdf>[Citado Marzo 2010]

Una aproximación a los requerimientos de energía firme para el sistema eléctrico colombiano

An approach to the firm energy requirements for the colombian electrical system

Bibiana A. Cuartas T., MSc., Santiago Hoyos V., MSc., Diego F. Gómez, PhD., Luis G. Vélez A. PhD.
Centro de Estudios en Economía Sistémica – ECSIM
investigador2@ecsim.org, shhv05@gmail.com, dirección@ecsim.org, lgva@une.net.co

Alfredo Trespalacios C., Ing., Walter D. Navarro G., MSc.
Empresas Públicas de Medellín – EPM
alfredo.trespalacios@epm.com.co, walter.navarro@epm.com.co

Resumen: debido a la necesidad de garantizar la disponibilidad del servicio de la energía en el mercado colombiano a largo plazo, la CREG ha considerado subastar el Enficc, remunerando con un cargo fijo a los agentes que se comprometan a entregar esta energía en el futuro. Para los agentes participantes en este mercado es importante conocer cuál podría ser esta energía a subastar, dado que le permitiría diseñar estrategias de entrada de plantas con un tamaño y tecnología determinada. En este artículo se presenta un modelo capaz de tener una aproximación a los requerimientos de Enficc en el futuro y con ello diseñar diferentes estrategias de entrada de plantas en el tiempo.

Palabras Clave: energía, enficc, Dinámica de Sistemas.

Abstract: due to the need to ensure the availability of energy services in the Colombian market in the long term, the CREG has considered auctioning the Enficc, paying a flat fee for the agents who are committed to deliver energy in the future. For those involved in this market is important to know what could be the energy to be auctioned to design strategies that would allow entry of plants, size and specific technology. This article presents a model able to have an approach to the Enficc requirements in the future and thereby designing different entry strategies of plants in the time.

Keywords: energy, enficc, System Dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

En un mercado eléctrico y más aún en uno altamente hídrico y con altas tasas de crecimiento de la demanda como es el caso colombiano, es necesario garantizar la disponibilidad del servicio en el tiempo, debido a la importancia del bien que se transa en este mercado [1, 2].

Con el fin de responder con esta disponibilidad, se hace vital la planeación de un sistema de expansión adecuado, tal que incentive la inversión en nueva capacidad de generación bajo estándares de eficiencia [3].

Países como Colombia, Chile, Argentina, Gran Bretaña, Perú, España, Corea del Sur, proponen la creación de mercados de capacidad centralizados donde se les retribuye a los agentes un ingreso adicional al precio de la energía por mantener una capacidad que le aporta estabilidad al sistema.

En el caso de algunos mercados de Estados Unidos y Canadá, tienen contratos bilaterales con grandes empresas encargadas de ofertar un margen de reserva. Y en otros mercados, por ejemplo PJM en Estados Unidos, existe una combinación entre mercados de capacidad centralizados y contratos bilaterales de requerimientos de reserva de capacidad [3-9].

En el caso del mercado colombiano, la entidad encargada de regular para garantizar esta disponibilidad con eficiencia y calidad en el

suministro eléctrico es la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) quien opta por subastar la energía máxima que sea capaz de entregar continuamente las plantas en condiciones críticas durante un año, comúnmente conocida como Enficc [10, 11].

De esta forma, a los agentes ganadores de estas subastas se les remunerará un cargo fijo por la garantía de tener disponible la energía subastada en períodos de escasez [12].

Esta remuneración ha hecho que los agentes se vean motivados a construir nuevas plantas que le den firmeza al sistema [1], pues en muchos casos dicho cargo fijo da viabilidad a centrales termoeléctricas que son despachadas una pequeña parte del tiempo durante el año, o en el caso de grandes centrales hidroeléctricas, el compromiso en firme de su generación y la prima recibida por ello, motiva la inversión.

Para cualquier agente participante del mercado eléctrico, es de importancia conocer cuáles podrían ser los futuros requerimientos de Enficc, ya que a partir de allí, podría diseñar estrategias en cuanto a la entrada de plantas al sistema de diferentes tecnologías que finalmente afectarían el precio de la energía.

Por tanto, en este artículo se describe un modelo basado en Dinámica de Sistemas que calcula los requerimientos de Enficc en un corto y mediano plazo para el sistema eléctrico colombiano, bajo diferentes escenarios de demanda. Y cómo el decisor podrá diseñar estrategias, con el ingreso de nuevas plantas al sistema, tal que le permitan visualizar la composición del parque de generación en el tiempo.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE REQUERIMIENTOS DE ENFICC

Con el fin de hallar los requerimientos de Enficc, es necesario conocer la cantidad ofertada de Enficc en el sistema y cuál podría ser la demanda futura. Estos requerimientos se revisan anualmente proyectando cada uno de ellos para 4 y 8 años [10]. Para este efecto se consultó la literatura sobre los trabajos previos alrededor del modelamiento y simulación de mercados eléctricos utilizando Dinámica de Sistemas y se encontraron diferentes desarrollos que se tuvieron en cuenta para en la construcción de este modelo [9, 12, 13].

En la **figura 1** se puede observar que en la medida que haya mayor demanda de energía, la oferta de

Enficc se debe incrementar, ya que es necesario garantizar la disponibilidad del suministro eléctrico en el tiempo. Este incremento se logra con la entrada de nueva capacidad al sistema a través de las subastas de Enficc.

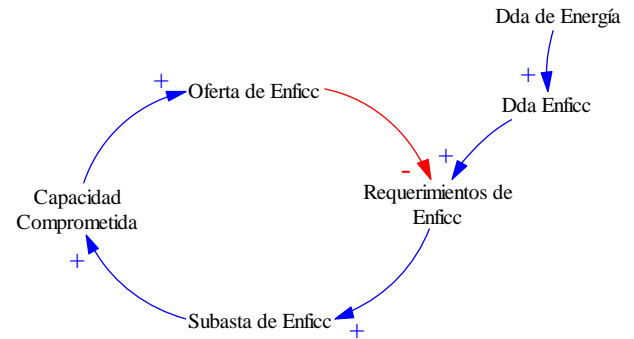


Figura 1. Diagrama Causal Requerimientos de Enficc

Para hallar la demanda de Enficc (demanda objetivo), se supone el escenario alto de la UPME incrementado en un porcentaje que puede ser modificado por el usuario. La oferta se calcula bajo la hipótesis que todas las plantas comprometen su nivel de Enficc, ya que recibirán un cargo fijo en el tiempo.

Es importante estimar adecuadamente la demanda objetivo, tal que además de asegurar la confiabilidad del sistema, no genere sobreinstalación o subinstalación en el parque, ya que esto podría afectar de forma importante la viabilidad financiera, tanto de los usuarios como de las firmas generadoras.

Cada año se revisa la demanda y oferta, y en el caso de que la oferta sea menor que la demanda, entonces se da lugar a las subastas para que los agentes comprometan la entrada de capacidad de generación en el tiempo requerido.

Las plantas que participan en la subasta son las inscritas en el plan de expansión y que aún no tienen su Enficc comprometido. A estas plantas se les asigna un factor de utilización de su máxima capacidad en situaciones críticas, según las condiciones técnicas de la planta. Este factor se calcula con la información de las plantas existentes, hallando una relación entre tipo de planta, capacidad y Enficc comprometido. El usuario también determinará el orden de entrada de las plantas.

De esta forma el decisor podrá diseñar estrategias de entrada de plantas e identificar los requerimientos de Enficc en el tiempo. Esta estrategia está ligada al orden de prioridad de entrada que le dará a las plantas

y al tipo de plantas. Ya que estas determinarán de una u otra forma el precio de la energía en el futuro.

3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

3.1 PARÁMETROS DEL MODELO

El modelo tiene un periodo de simulación de 20 años, con pasos mensuales. La demanda de Enficc se construye a partir del escenario alto de la UPME revisado a marzo del 2010 [14], más un delta del 4% de ésta.

Las plantas que se consideran son las que aparecen inscritas en el registro de proyectos de generación [15] y que no están en desarrollo.

3.2 RESULTADOS

Con estos parámetros se tienen los siguientes resultados de simulación:

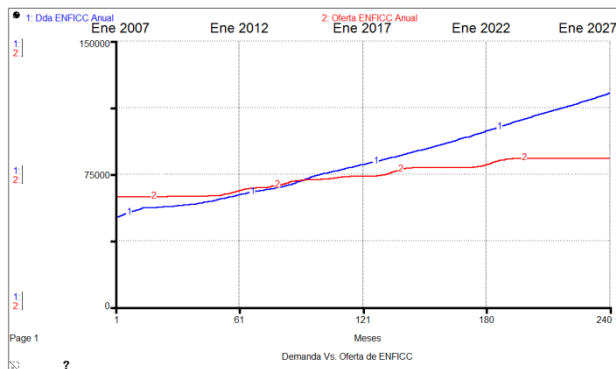


Figura 2. *Demanda Vs Oferta de Enficc con las plantas del Plan de Expansión*

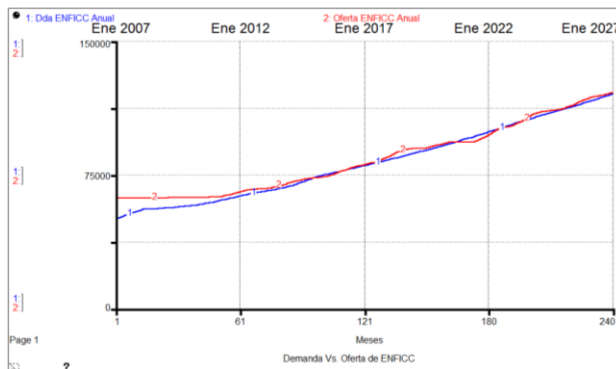


Figura 3. *Demanda Vs Oferta de Enficc con las plantas que no han subastado su Enficc*

Donde la figura 2 señala cómo la demanda de Enficc es cubierta, hasta el primer semestre del 2014, con la

oferta actual más las plantas que comprometieron su Enficc en la última subasta, presentando un leve aumento en el año 2017 y 2022 debido a la entrada de la primera fase de la Central Pescadero para el 2017 y suponiendo la entrada de la segunda fase para el 2022.

En la figura 3 se presentan los resultados de una simulación considerando, además de las plantas que tienen su Enficc comprometido con subastas anteriores, aquellas plantas que están registradas en el plan de expansión pero que aún no han participado en subastas.

Bajo este escenario, la capacidad instalada para cubrir la demanda siempre supera la demanda máxima de potencia, tal como se muestra en la figura 4, manteniendo un margen promedio del 28% entre la demanda máxima de potencia y la capacidad instalada, cifra que concuerda con el margen histórico.

Con las plantas inscritas en el registro de proyectos de generación se alcanzaría una capacidad instalada cercana a 24 GW para el año 2027.

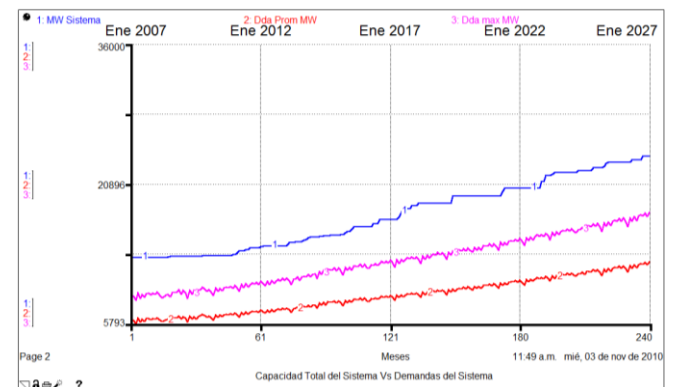


Figura 4. *Capacidad Total del Sistema Vs Demanda del Sistema*

3.3 COMPARATIVO CON LA LITERATURA

Si bien existe literatura que modele el comportamiento del mercado eléctrico en Colombia, se encontraron pocos estudios que hagan referencia a la expansión requerida a mediano y largo plazo para este mercado.

El estudio presentado por Becerra y Franco [13], aunque describe un modelo conceptual que identifica la interacción entre las variables que finalmente definen la dinámica de la expansión en capacidad, no presenta datos de cómo podría ser la expansión del

sistema bajo diferentes escenarios, por tanto no es posible hacer un comparativo.

En [16] se tiene información de la oferta y demanda de energía a mediano plazo para diferentes escenarios, concluyendo en qué períodos podría haber una necesidad de oferta teniendo en cuenta la capacidad existente y la comprometida en la subasta anterior.

Con el propósito de comparar los resultados del modelo propuesto, se tomaron los escenarios de demanda alta, encontrando que el periodo crítico para cumplir con la demanda se da en el año 2017. Y en el caso del modelo de requerimiento de Enficc (**figura 2**) se tiene que con la capacidad existente y la comprometida en la subasta anterior, puede haber requerimiento de oferta tres años antes (2014) que la reportada por [16], esto se debe a que la demanda considerada en el presente estudio es la revisada por la UPME para el 2010, adicionándole un 4%, la cual es más alta que la proyectada en el 2009, por tanto el sistema puede mostrar requerimiento de capacidad mucho más temprano que el contemplado en el 2009.

4. CONCLUSIONES

Se ha construido un modelo de aproximación al comportamiento futuro del mercado de energía firme en Colombia, basado en la normatividad actual, que permite el análisis de diferentes escenarios de demanda y comportamiento de cada uno de los agentes que participaría en del mercado.

Los resultados que arroja el modelo son consistentes con lo esperado en el mercado, prueba de ello es que mantiene un margen promedio del 28% entre la demanda máxima de potencia y la capacidad instalada.

El tipo de tecnología que ingrese al sistema para garantizar la confiabilidad del mismo, se convierte en determinante del desempeño (valor promedio y volatilidad) del precio spot.

5. REFERENCIAS

[1] JARAMILLO, F.; ALZATE, J.; CADENA, A.; DURAN, H. and MEJÍA, G. "Propuesta alternativa para la estimación de la energía firme en el mercado de energía eléctrica colombiano," presented at XIV Latin-Iberoamerican Congress on Operations Research - CLAIO 2008, Colombia, 2008.

[2] POLLITT, M. G. "Electricity Reform in Chile: Lessons for Developing Countries," Massachusetts Institute of Technology, Center for Energy and Environmental Policy Research, pp. 43, 2004.

[3] PFEIFENBERGER, J.; SPEES, K. and SCHUMACHER, A. "A Comparison of PJM's RPM with Alternative Energy and Capacity Market Designs," pp. 90, 2009.

[4] JERKO, C. A.; MJELDE, J. W. and BESSLER, D. A. "Identifying Dynamic Interactions in the Western US," in *Modelling prices in competitive electricity markets*, B. D. W., Ed., 2004.

[5] JOSKOW, P. "Electricity sector liberalisation: lessons learned from cross-country studies," in *Electricity Market Reform: An International Perspective.*, F. P. Sioshansi and W. Pfaffenberger, Eds. St. Louis: Elsevier Global Energy Policy and Economics Series, 2006, pp. 1-32.

[6] SINGH, H. "Transmission markets, Congestion Management, and investment," in *Competitive Electricity Markets. Design, Implementation, Performance*, S. Fereidoon, Ed. London: Elsevier, 2008.

[7] . SIOSHANSI F. and PFAFFENBERGER, W. "Why Restructure in Electricity Markets?," in *Electricity market Reform: An International Perspective*, S. Fereidoon and W. Pfaffenberger, Eds. London: Elsevier, 2006.

[8] STOFT, S. "Power System Economics: Designing Markets for Electricity," IEEE, pp. 468, 2002.

[9] FORD, A. "A method for approximating the value of demand-side information," *Energy Systems and Policy*, vol. 14, pp. 135-151, 1990.

[10] CREG, "Resolución 071 de 2006," Bogotá, Colombia 2006.

[11] SIERRA, J. "Modelo centralizado de referencia para el análisis de subastas de energía firme.," presented at XIV Latin-ibero-american congress on operations research - clai0 2008, Colombia, 2008.

[12] DYNER, I.; FRANCO, C. J. and ARANGO, S. *El mercado mayorista de electricidad colombiano*, Universidad Nacional de Colombia ed. Medellín, Colombia, 2008.

[13] BECERRA, D. and FRANCO, C. J. "Latinoamérica: Una comunidad que aprende Dinámica de Sistemas y con Dinámica de Sistemas," presented at *Modelado de señales de expansión de generación en mercados de electricidad*, Santa Marta, Colombia, 2009.

- [14] UPME, "Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia máxima: Revisión, marzo de 2010," Unidad de Planeación Minero Energética, Bogotá, marzo 2010.
- [15] UPME, "Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2010 - 2024," UPME, Bogotá 2010.
- [16] RESTREPO, I. "La confiabilidad en los sistemas eléctricos competitivos y el modelo colombiano de Cargo por Confiabilidad." Medellín: Universidad de Antioquia, 2010, pp. 44.

Análisis sistémico del mercado de carbono de la Unión Europea y sus implicaciones en el sector eléctrico

System analysis of the European Union carbon market and its implications over the energy sector

Laura M. Cárdenas A., Ing., Carlos J. Franco C., PhD., Isaac Dyner, PhD.
Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
lmcardenasa@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co, idyner@yahoo.com

Resumen: El objetivo de este trabajo es estudiar el mercado de carbono de la Unión Europea y sus implicaciones sobre el sector energético a través del modelamiento en Dinámica de Sistemas. Se estudian específicamente los impactos sobre el sector eléctrico europeo al incorporarse el esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea (EU ETS). Se plantea una hipótesis dinámica del esquema antes mencionado para un país de la Unión Europea, especificado por tecnología acerca de las relaciones que se dan en el sector eléctrico de dicho país. Los resultados obtenidos indican que para el caso de Reino Unido, la termoeléctrica a carbón no encuentra un espacio económico para operar en el sistema, mientras que la a gas logra un porcentaje importante del mercado. En este artículo se destaca el impulso que se da a las tecnologías limpias como la Eólica.

Palabras clave: mercado de carbono, esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea, sector eléctrico, Dinámica de Sistemas.

Abstract: the aim of this paper is to study The European Union Carbon Market with the support of a systems dynamic model. This paper studies the impact of the European Union Emissions Trading Scheme (EU ETS) on the electricity industry. This paper presents a dynamic hypothesis for this scheme, particularly for one of The European Union countries. For the UK, results indicate that carbon technology is not economic feasible while gas based technologies take a significant portion of the market. Results also indicate the progress of clean technologies like wind in the UK market.

Key words: carbon market, energy sector, European Union emissions trading scheme, System Dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un tema que se ha convertido en una preocupación para el mundo entero en los últimos años. La magnitud y alcance de las manifestaciones de este problema han sido los principales motores para que los gobiernos empiecen a reaccionar frente a él. Las constantes sequías, el descongelamiento de los glaciares, los huracanes, las inundaciones, son solo algunas de estas manifestaciones que afectan a países de todas partes del mundo [1] [2] [3].

A pesar de que el problema viene manifestándose desde varios años atrás, tan solo en 1990 se realizaron las declaraciones mundiales frente al problema, a través de los informes presentados por el Grupo Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), y se empezó a tomar acción en el año 1992, con el surgimiento del Protocolo de Kioto, dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cual entraría en rigor a partir de 1994 [4].

En los primeros informes presentados por IPCC, se hizo evidente que el problema con el calentamiento global se debía en gran parte a las acciones del hombre en el pasado. Además se reconoció que dicha problemática se encontraba ya en una etapa muy avanzada, llegando a la conclusión que se necesitaba urgentemente intervención internacional [4].

En 1997, se inicia un acuerdo internacional, en el cual varios países de todo el mundo se comprometen

a disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este acuerdo se denominó el Protocolo de Kyoto (PK).

El protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional donde los países industrializados se comprometen a reducir sus emisiones colectivas de GEI, por lo menos en un 5% respecto a las emisiones de 1990. Para lograr dicha meta, los diferentes países tendrán un período de tiempo, comprendido entre los años 2008 y 2012, período denominado “primer período de compromiso” [5].

En dicho protocolo también se mencionan tres mecanismos, que permiten a los países participantes lograr sus metas fijadas en el protocolo, a través de medios para recortar las emisiones o incrementar los sumideros de carbono, a costos más bajos en otros países que en el propio [3]. Estos mecanismos son: Ejecución o implementación conjunta, el Mecanismo de desarrollo limpio y por último, el mecanismo de Comercio de derechos de emisión [3].

A partir del surgimiento de estos tres mecanismos, en algunos países se dieron los primeros pasos para la construcción de toda una infraestructura que permitiera un intercambio de bonos de carbono, que posteriormente se conocería con el nombre de “Mercado de Carbono”.

A pesar de que el primer período de compromiso del Protocolo de Kyoto está en curso, no se puede establecer realmente un mercado global de carbono, sino esfuerzos independientes de algunos países por tratar de cumplir las metas propuestas [6].

De esos esfuerzos independientes, cabe resaltar el realizado por el esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea EU ETS, el cual abarcó un 94% dentro del mercado de transacciones en el 2008; así mismo, las transacciones realizadas dentro de éste representaron un 64% del mercado global de carbono [7].

El Esquema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS) es hasta el momento el esquema de comercio de emisiones que transa mayores volúmenes y valores de permisos, como se observa en la **figura 1**. En este esquema, las transacciones de carbono juegan un papel importante, y éstas se dan entre los diferentes actores del sistema (compañías de los diferentes sectores de la Unión Europea, gobiernos, compañías regidas por otros esquemas de comercio de carbono, entre otros). Las transacciones de emisiones en este esquema se hacen por medio de “derechos de emisión” conocidas en inglés como

EUA (European Union Allowance), las cuales equivalen a una tonelada de dióxido de carbono [8].

Las EUAs son distribuidas dentro de los diferentes participantes del esquema, siendo el sector eléctrico el mayor participante del mismo con una representación aproximada del 60%. [9].

	2007		2008	
	Volume (MtCO ₂ e)	Value (MUS\$)	Volume (MtCO ₂ e)	Value (MUS\$)
Project-based Transactions				
Primary CDM	552	7,433	389	6,519
JI	41	499	20	294
Voluntary market	43	263	54	397
Sub total	636	8,195	463	7,210
Secondary CDM				
Sub total	240	5,451	1,072	26,277
Allowances Markets				
EU ETS	2,060	49,065	3,093	91,910
New South Wales	25	224	31	183
Chicago Climate Exchange	23	72	69	309
RGGI	na	na	65	246
AAUs	na	na	18	211
Sub total	2,108	49,361	3,276	92,859
TOTAL	2,984	63,007	4,811	126,345

Figura 1. Volúmenes y valores del mercado de carbono durante los años 2007 y 2008 [7].

Durante el primer período de compromiso del Protocolo de Kyoto, que correspondería a la 2 fase del EU ETS, se utilizó un sistema de asignación gratuita de EUAs conocido como NAP, equivalente al 90% del total de permisos [10]. Esta asignación de EUAs establece un límite máximo para las empresas que generen emisiones de dióxido de carbono.

El problema aparece cuando estas empresas producen más emisiones, sobrepasando el límite establecido. Por ejemplo, para el caso del sector eléctrico, los costos de las multas impuestas a las empresas por haber sobrepasado el límite se están pasando al consumidor, elevando el costo de la electricidad [11], generando toda una nueva dinámica en la economía europea [12] [13] [14].

Por esta razón se hace necesario entender cómo funciona este esquema, determinar cuáles son las implicaciones que trae para el sector eléctrico, y explicar toda la dinámica que se está dando en torno a él.

En la literatura es posible encontrar trabajos donde se estudia la problemática del cambio climático desde la

Dinámica de Sistemas, algunos de ellos son los realizados en [15] [16] [17]. La Dinámica de Sistemas permite un estudio más coherente de sistemas complejos como el que se aborda en este trabajo, razón por la que se recurre a ella.

En este artículo se incluye la realización de una hipótesis dinámica, la presentación de un análisis de realimentación detallado, seguido de los resultados obtenidos para la simulación del modelo en Reino Unido y por último, las conclusiones del análisis realizado.

3. ANÁLISIS DE REALIMENTACIÓN

Para el estudio del sistema que gira alrededor del Esquema de Comercio de emisiones de la Unión Europea, se realizó una hipótesis dinámica que diera cuenta del sistema en su totalidad y sus relaciones con el sector eléctrico. Además se interioriza el modelo a través de un estudio detallado de los ciclos de realimentación más importantes.

2.1 HIPÓTESIS DINÁMICA

La hipótesis dinámica **figura 4** representa el Esquema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea y el sector eléctrico para un país y por tecnología.

Las variables que se encuentran en letra color rojo representan variables vectoriales divididas por las principales tecnologías de generación del país seleccionado. A continuación se profundiza en el modelo a través del estudio de los ciclos de realimentación más importantes de la hipótesis dinámica.

Para el estudio de la hipótesis se pueden establecer tres grandes partes en ella: “Asignación de permisos”, “Mercado de EUA” y “Sector eléctrico”.

2.2 ANÁLISIS POR CICLOS DE REALIMENTACIÓN

El modelo consta de gran cantidad de ciclos de realimentación, pero solo se hará una descripción de aquellos que presentan estructuras causales más globales del comportamiento del esquema y del sector eléctrico.

2.2.1 Asignación de permisos

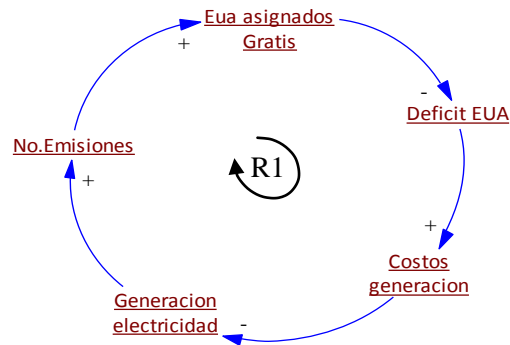


Figura 2. Asignación gratuita

Esta primera parte está constituida principalmente por los ciclos R1 (**figura 3**) y B2 (**figura 4**). En ella se presenta que cada país tiene una cantidad de permisos para ser asignados y éstos pueden ser asignados de manera gratuita o por medio de subastas. Una vez sean adquiridos por las tecnologías del sector eléctrico, servirán para subsanar el déficit que cada una de éstas tengan.

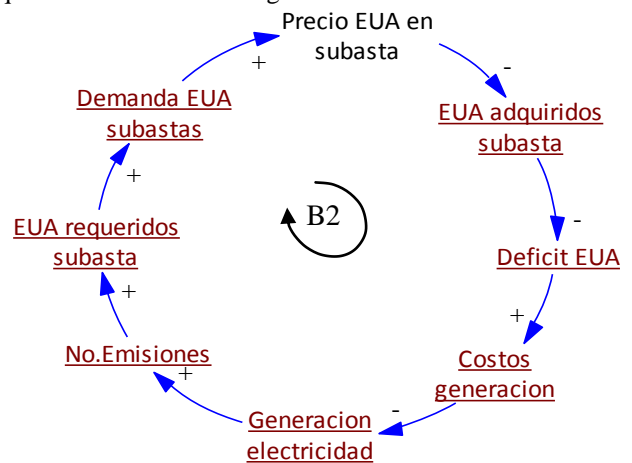


Figura 3. Asignación por subasta

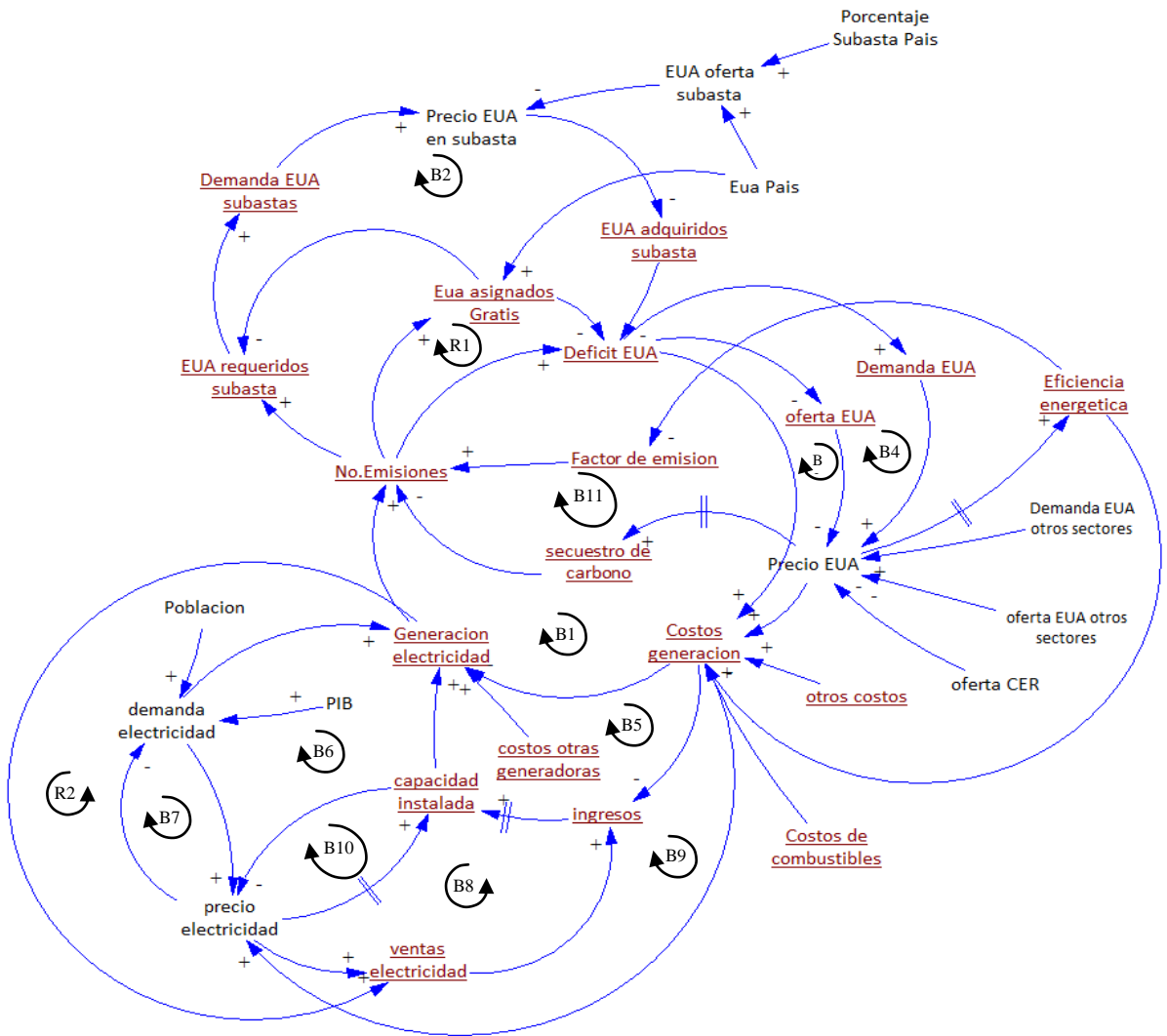


Figura 4. Hipótesis dinámica del EU ETS y el sector eléctrico

2.2.2 Mercado de EUA.

En esta segunda parte se encuentran los ciclos de balance Oferta de EUA (figura 5) y Demanda de EUA (figura 6). Esta parte representa cómo debido al déficit o la capacidad para disminuir emisiones de cada tecnología, se establece una oferta y demanda de EUA.

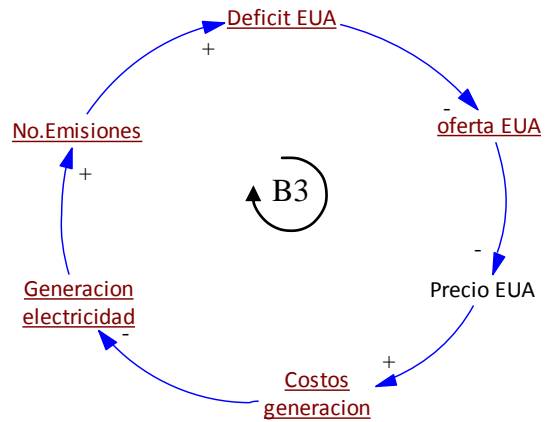


Figura 5. Oferta de EUA

A mayor déficit menor va a ser la oferta de EUA y por el contrario, a mayor déficit, mayor número de permisos serán requeridos por cada una de las tecnologías a base de combustibles fósiles. Esta demanda y oferta determinan el precio del EUA que en últimas se constituye en un costo para aquellas instalaciones que generen gases de efecto invernadero.

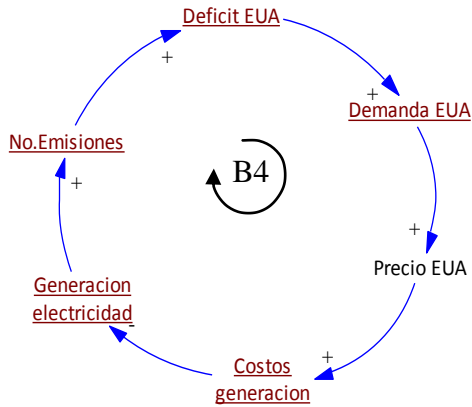


Figura 6. Demanda de EUA

2.2.3 Sector eléctrico

En esta tercera y última parte se encuentran los ciclos de expansión de capacidad (figura 7 y figura 8) y se presenta cómo los costos de emisiones entran a formar parte de la dinámica del sector eléctrico, alterando su curso normal por medio de la inclusión del costo de emisión en sus costos de generación. El ciclo de expansión 1 muestra cómo se puede dar un aumento en la capacidad debido a un aumento en las ventas, pero el ciclo de expansión 2 muestra que la capacidad puede verse frenada debido al aumento en los costos de generación al introducirse el costo de emisión.

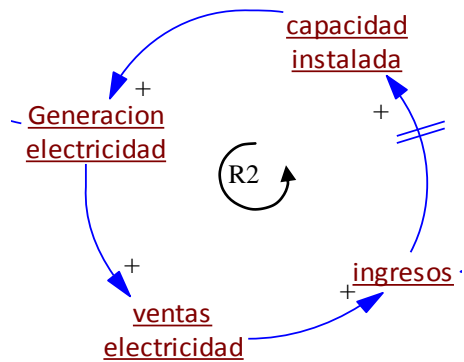


Figura 7. Expansión de Capacidad 1

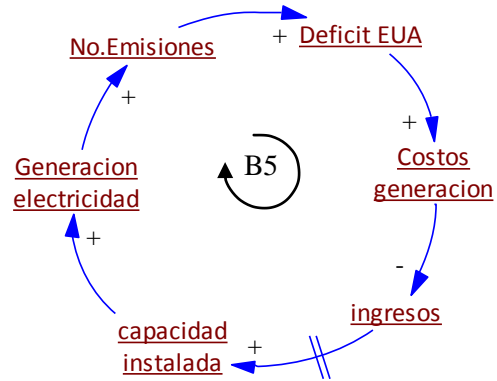


Figura 8. Expansión de capacidad 2

Los costos de generación también juegan un papel importante en la constitución del precio de la electricidad, y éste a su vez afecta directamente la demanda de electricidad, de manera que a un aumento en el precio de la electricidad, la demanda disminuye, ocasionando cambios en la generación de electricidad, como lo muestra la figura 9 Demanda de Electricidad..

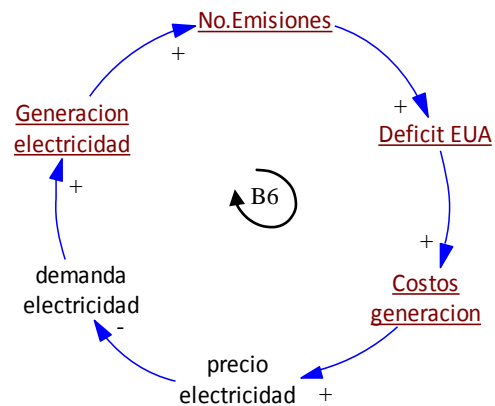


Figura 9. Demanda de electricidad

A partir de la generación realizada por cada tecnología, se establece el número de emisiones y de esta manera vuelve y se conecta nuevamente con la primera parte de la hipótesis dinámica, correspondiente a la asignación de permisos con base en las emisiones realizadas.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El modelo se parametrizó con los datos de Reino Unido, el cual se caracteriza por ser uno de los integrantes de la Unión Europea favoritos para cumplir con los requerimientos del Protocolo de Kyoto, además de ser el país con mejores resultados a la hora de la implementación del EU ETS, debido a la organización de la información de las organizaciones

en la creación de un sistema de comercio de emisiones [18].

El horizonte de tiempo del modelo está determinado por las fases del esquema de la Unión Europea, de manera que está comprendido entre el año 2008 y 2020. La segunda fase del EU ETS se caracteriza por asignar sus permisos en un 90% gratuitamente y la tercera fase se caracteriza porque la asignación de permisos se hará por medio de subastas (100%) para el sector eléctrico.

Teniendo lo anterior presente, las simulaciones se realizaron bajo dos escenarios: el primer escenario se denomina “Asignación gratuita” y el segundo escenario se denomina “Asignación basada en subastas”.

Las tecnologías del sector eléctrico incluidas en el modelo fueron: Gas, Fuel Oil, Carbón, Nuclear, Cogeneración CHP (por su sigla en inglés Combined Heat and Power), Eólica, Hidrotérmica e Interconexiones. El paso de simulación es trimestral.

3.1 ESCENARIO: ASIGNACIÓN GRATUITA

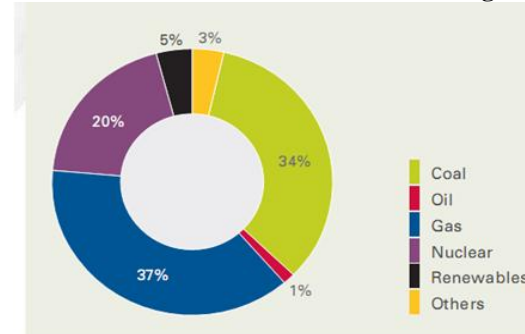
En este escenario, los permisos (EUA) destinados para el sector eléctrico de Reino Unido, son distribuidos en un 90% por medio de asignación gratuita a las tecnologías con base en combustibles fósiles. Solo un 10% de los permisos del país son subastados.

Cada una de las tecnologías que generen emisiones de gases de efecto invernadero deberá, al final de

cada año, presentar tantos permisos como emisiones realice durante el periodo.

Si el número de permisos asignado gratuitamente no alcanza a cubrir el número de emisiones realizadas, podrá adquirir sus permisos en la subasta. Dado el caso, en que la oferta de determinada tecnología no sea atendida en la subasta, deberá comprar los permisos en el mercado de EUA.

Para el año 2005 la generación de electricidad estaba determinada en gran parte por gas con 37% y carbón con un 34%, como lo muestra la **figura 10**.



Source: DTI, 2006

Figura 10. Generación de electricidad en Reino Unido [19]

Con la incorporación del esquema EU ETS y asignación de permisos gratuita, la generación de energía en el Reino Unido basado en carbón tiende a desaparecer, como lo muestran los resultados del modelo en la figura 11.

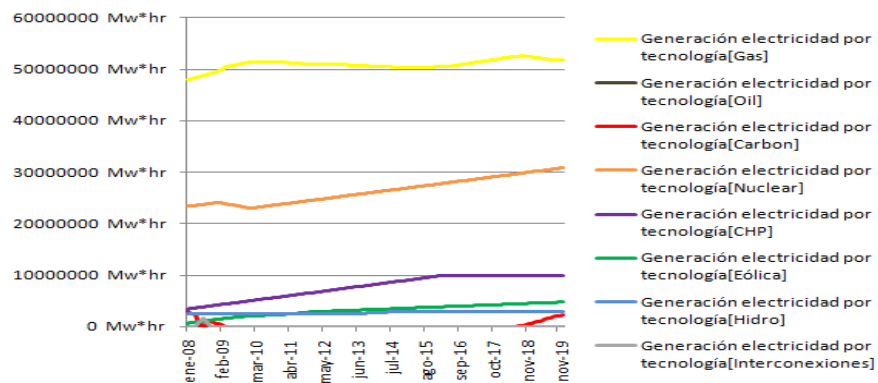


Figura 11. Generación de electricidad con permisos de emisión regalados

Lo anterior se debe a que la generación en base a carbón no es competitiva debido a que sus costos de generación son superiores a los de otras tecnologías. En la **figura 12**, pueden verse los costos de generación de cada una de las tecnologías, junto con el precio de la electricidad.

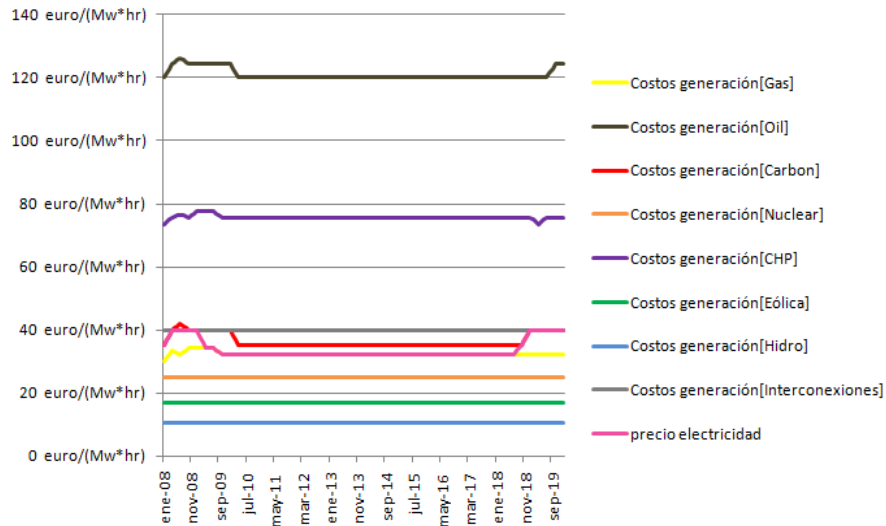


Figura 12 70. Costos de generación con permisos gratuitos

Las tecnologías con combustibles fósiles que mayor factor de emisión tienen, en este caso fuel oil y carbón, tienen costos de generación mayores que las demás tecnologías. El gas, debido a su plan de expansión, termina siendo el marginal, y el CHP, a pesar de que sus costos de generación son mayores, entra en el mérito de generación debido a que es una cogeneradora.

En la **figura 13** se presenta el déficit de EUA de las tecnologías que utilizan combustibles fósiles. En un comienzo el modelo asigna los permisos con base en la capacidad instalada de cada una de las tecnologías, razón por la que el gas tiene un déficit pero rápidamente llega a 0, es decir, que se le dan todos los permisos que necesita; por el lado del carbón, como su generación es tan baja, el número de permisos que necesita es poco, así que lo lleva a tener un superávit hasta que la asignación se empieza a realizar con base en la generación de los periodos pasados. Después la tecnología basada en carbón no genera hasta los últimos años, así que su déficit se mantiene casi en cero, y para la tecnología basada en carbón su déficit tiende a aumentar ligeramente, debido a que su generación también aumenta.

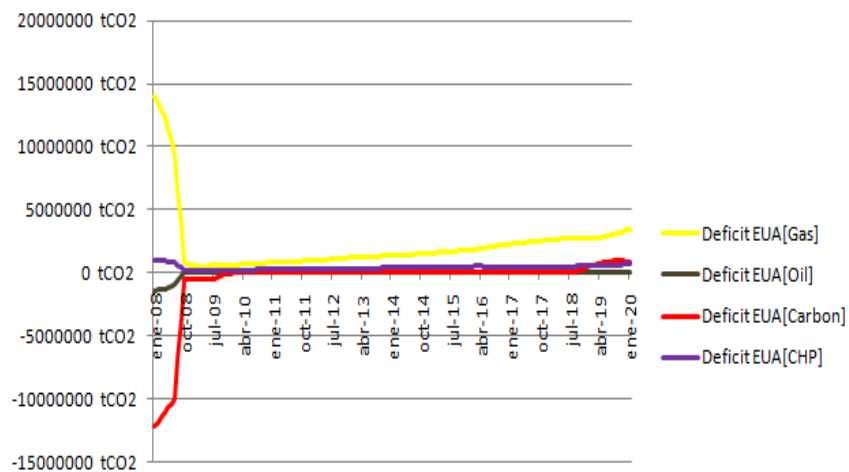


Figura 13. Déficit EUA con permisos gratuitos

3.2 ESCENARIO: ASIGNACIÓN BASADA EN SUBASTAS

Para este segundo escenario, los permisos (EUA) destinados para el sector eléctrico son asignados 100% en subasta, así que todas las tecnologías basadas en combustibles fósiles deben adquirir sus permisos, en primera instancia, en subasta y luego pasar a cubrir su déficit en el mercado de EUA.

lo que significa que la salida del carbón a futuro de la generación de electricidad en Reino Unido, no se debe precisamente al ingreso de costo de emisión, sino que a largo plazo el carbón sale del mercado porque éste no es competitivo frente al gas. Las razones para lo anterior pueden estar justificadas en la liberación del mercado que sufrió este producto, llevando a un cambio tecnológico desde antes de la implementación del EU ETS.

Las **figuras 14 y 15** no presentan grandes cambios en comparación con la figura 10 y 11 respectivamente,

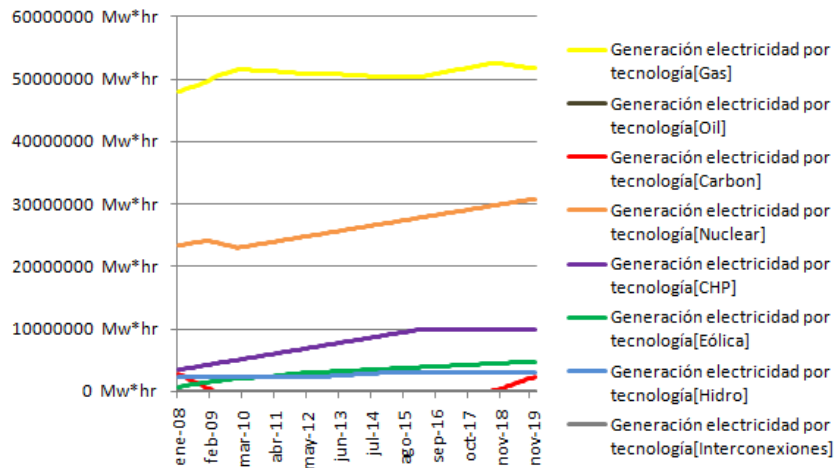


Figura 14. Generación de electricidad con permisos asignados en subasta

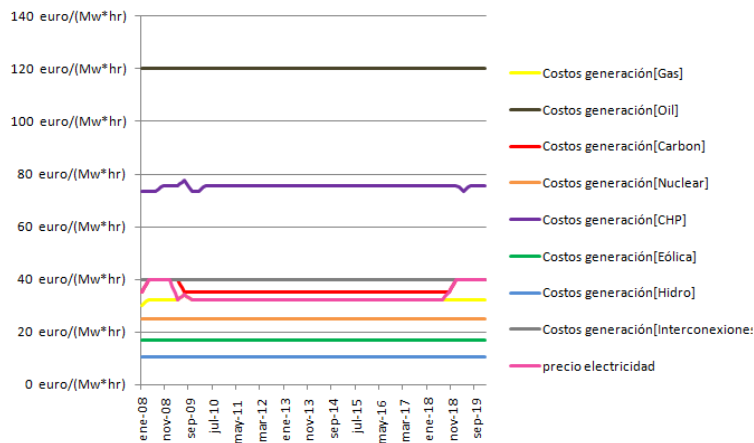


Figura 15. Costos de generación con permisos asignados en subasta

Sin embargo, como se muestra en la **figura 16**, es importante señalar el impulso que sufren las tecnologías limpias en cuanto a la capacidad instalada. Por ejemplo, la tecnología eólica aumenta su capacidad considerablemente llegando a tener tres veces su capacidad inicial.

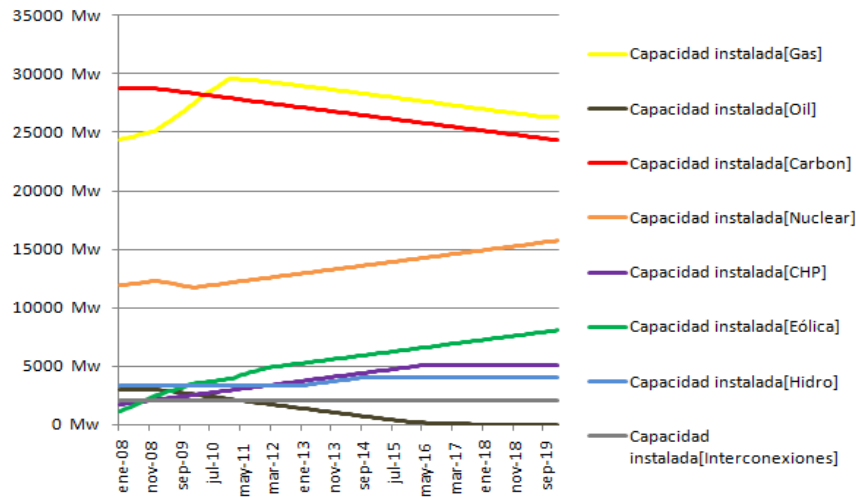


Figura 16. Capacidad instalada con permisos asignados en subasta

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el primer escenario de simulación muestran que la termoeléctrica a carbón no es capaz de operar de manera económica en el sistema, y que la termoeléctrica a gas a pesar de que logra una porción importante del mercado da espacio al desarrollo de tecnologías más competitivas como la eólica.

A pesar de que la asignación de permisos gratuita, representada en el primer escenario modelado, hace parte de una segunda fase del Esquema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea, sigue representando una etapa de aprendizaje sobre el mercado de carbono y sobre la implementación del esquema, llevando a un desempeño más eficiente del mismo en fases posteriores.

Los resultados indican que el Reino Unido cumplirá con su meta propuesta para el primer periodo de compromiso de Kioto. Esto se facilitó por la apertura del mercado eléctrico del Reino Unido que en su momento llevó a que el gas reemplazara al carbón y que los resultados obtenidos al largo plazo de dicha apertura coinciden con la introducción del mercado de carbono.

No obstante, el Mercado de Carbono sí genera un impulso en la utilización de tecnologías limpias como la eólica, llevándola a aumentar su capacidad a 10

Mw y fortaleciendo su penetración en el mercado. También se resalta el papel protagónico que desempeña la tecnología basada en gas en el Reino Unido para los próximos años, ya que a pesar de no pertenecer al grupo de tecnologías limpias, logra abarcar un gran porcentaje del sector eléctrico de dicho país.

5. REFERENCIAS

- [1] UNFCCC y PNUMA. Carpeta de información sobre el cambio Climático. 2004
- [2] Comisión Europea. El cambio climático: ¿qué es? Introducción para jóvenes. Luxemburgo. 2006.
- [3] UNFCCC. Cuidar el clima, guía de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. 2005. Bonn, Alemania: Secretaría de la Convención marco sobre el cambio climático (CMCC).
- [4] UNFCCC. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, los diez primeros años. Alemania. 2004.
- [5] PNUMA, CMNUCC. Para comprender el cambio climático: Guía elemental de la convención marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto. 2002.

- [6] ARAGÓN RODRÍGUEZ, Hugo. El mercado del carbono: construcción institucional, funcionamiento y perspectivas. *Economía Informa*, Num. 354. 2008.
- [7] World Bank Institute. *State and Trends of The Carbon Market 2009*. 2009.
- [8] World Bank Institute. *State and Trends of The Carbon Market 2008*. 2008.
- [9] ZACHMANN, Georg; HIRSCHHAUSEN, Christian von. First evidence of asymmetric cost past-thru of EU emissions allowances: examining wholesale electricity prices in Germany. Discussion papers of DIW Berlin 208, DIW Berlin, German Institute for Economic Research. 2007.
- [10] Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo.
- [11] CHEN, Y.; SIJM, J.; HOBBS, B. F.; LISE, W. Implications of CO2 Emissions Trading for Short-run Electricity Market Outcomes in Northwest Europe, *Journal of Regulatory Economics*, 34(3): 251-281, 2008.
- [12] KARA, M.; SYRI, S.; LEHTILA, A.; HELYNEN, S.; KEKKONEN, V.; RUSKA, M. M., y otros. (2008). The impacts of EU CO2 emissions trading on electricity markets and electricity consumers in Finland. *Energy Economics*, 30 (2), 193-211.
- [13] SIJM, J. P.; BAKKER, S. J.; CHEN*, Y.; HARMSEN, H. W., & Lise, W. (2005). CO2 price dynamics: The implications of EU emissions trading for the price of electricity. Energy Research Centre of the Netherlands.
- [14] GULLÌ, F. (2008). *Markets for Carbon and Power Pricing in Europe*. Milan, Italia: Edward Elgar.
- [15] STERMAN, J. D.; & SWEENEY, L. B.; Cloudy skies: Assessing public understanding of global warming. *System Dynamics Review* , 18 (2), 207-240.2002.
- [16] FORD, A. *Global Warming and System Dynamics*. Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society. 2007.
- [17] FRANCO, C.J; BAENA, A.; BECERRA, D. Dinámica del calentamiento atmosférico producido por gases de efecto invernadero. V Encuentro latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Buenos Aires, Argentina. 2007.
- [18] SKJAERSETH, J. B., & WETTESTAD, J. (2008). *EU Emissions Trading. Initiation, Decision-making and Implementation*. England: ASHGATE.
- [19] DTI, 2006. *UK Energy in Brief*, a National Statistics Publication. Disponible en Web <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.dti.gov.uk/energy/statistics/publications/in-brief/page17222.html> [citado 10 de julio de 2010].

Precio de la electricidad en Colombia: una aproximación desde la Dinámica de Sistemas

Colombian electricity price an approach with system dynamics

Santiago Hoyos V., MSc., Bibiana A. Cuartas T., MSc.,
Diego F. Gómez, PhD., MSc. Luis G. Vélez A. PhD.
Centro de Estudios en Economía Sistémica – ECSIM
shhv05@gmail.com, investigador2@ecsim.org, dirección@ecsim.org, lgva@une.net.co
Alfredo Trespalcios C., IE., Walter D. Navarro G., MSc.
Empresas Públicas de Medellín – EPM
alfredo.trespalcios@epm.com.co, walter.navarro@epm.com.co

Resumen: El precio spot de la electricidad en Colombia, al igual que en la mayoría de mercados eléctricos del mundo es una variable con alta volatilidad. Dicha volatilidad se debe entre otras a los efectos climáticos, a la tasa de cambio, las variaciones de la demanda de energía eléctrica y al comportamiento del precio de los combustibles. En este artículo se presenta un modelo de formación de precio para la electricidad, basado en el despacho económico de un mercado eléctrico con diferentes tecnologías de generación hidráulica y térmica, como es el caso colombiano, de tal forma que su comportamiento en el tiempo emite señales para los tomadores de decisiones a nivel de inversión, regulación, operación del sistema y administración del mercado. Los resultados arrojados por el modelo de simulación en Dinámica de Sistemas muestran un comportamiento para el precio con alto nivel de fidelidad a la tendencia real.

Palabras Clave: precio de la electricidad, despacho económico, Dinámica de Sistemas.

Abstract: Colombian electricity price is a variable with high volatility as in most electricity markets in the world. Such volatility is due among others to climate effects, the exchange rate, changes in electricity demand and the behavior of fuel prices. This article presents a electricity price model based on economic dispatch of electricity markets with different technologies, hydro and thermal generation, as is the case of Colombia, so that its behavior over time emits signals for decision makers at the level of investment, regulation, system operation and market

management. Results from the model shows price behavior for the high level of fidelity to the real trend.

Key words: electricity price, economic dispatch, system dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento del precio de la electricidad es objeto de análisis para soportar la toma de decisiones al interior de los sectores de la economía y los hogares en general [1-3]

Desde el punto de vista de las organizaciones, en el sector eléctrico, por ejemplo, el precio de la electricidad determina en gran parte el nivel de inversión en la expansión del sistema [4-7].

Las demás actividades de la economía pueden ser competitivas con un menor precio de la electricidad, generando con ello desarrollo socioeconómico para el país o para alguna región en particular [8-13].

Los hogares consumen electricidad para suplir algunas necesidades como la cocción de alimentos, la iluminación, la generación de calor y confort de las familias. Precios altos de la electricidad generan disminución o pérdida de los beneficios de la electricidad, así como pérdida de la riqueza de la sociedad [8-16].

Por las razones anteriores se puede concluir que un análisis del precio de la electricidad es objeto de

estudio, seguimiento y representación, como soporte a la toma de decisiones en las organizaciones y los hogares.

En este artículo se presenta la descripción de un modelo de simulación en Dinámica de Sistemas que implementa un despacho económico por tecnología de generación para la formación del precio de la electricidad en Colombia.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO

El precio de la electricidad en el mercado eléctrico colombiano es producto de un proceso de optimización conocido como despacho económico [17]. Donde la intención es vigilar por el cumplimiento del criterio de eficiencia económica en el mercado, es decir, atender la demanda eléctrica al menor precio posible.

En un despacho económico confluyen en una bolsa las ofertas de los generadores y la demanda de electricidad, con las cuales el operador del sistema determina el precio de la energía [17].

En la Figura 71 se puede observar dicho proceso de corto plazo, ya que la demanda de electricidad debe ser satisfecha en todo instante de tiempo y si hay más demanda el precio se incrementa, debido a que plantas de generación con costos altos de operación son requeridas. Sin embargo, si hay mucha oferta el precio baja, porque hay más plantas de generación con costos bajos de operación que pueden ser seleccionadas por el operador del sistema para satisfacer la demanda.

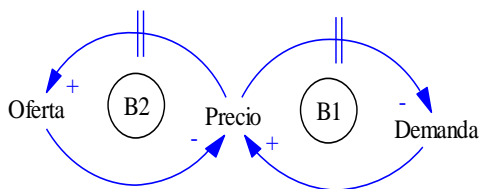


Figura 71. Diagrama Causal General

Las flechas que se observan en la parte superior de la Figura 71 corresponden a las relaciones entre oferta y demanda a través del precio, pero en el largo plazo. Así, por ejemplo, como consecuencia de altos precios de la electricidad, las expectativas de recuperación de la inversión para expandir el sistema aumentan y esto

define un incremento en la capacidad después de un tiempo.

La demanda de electricidad se puede contraer o expandir, dependiendo del precio, sin embargo, la reacción no es instantánea y se requiere de un tiempo para ello.

El despacho económico puede verse como un algoritmo de optimización que involucra en términos generales dos grandes pasos, un primer paso de ordenamiento de las ofertas de los generadores y un segundo paso de definición del precio de la energía con el precio ofertado por la última planta que sale despachada, como se observa en la Figura 72.

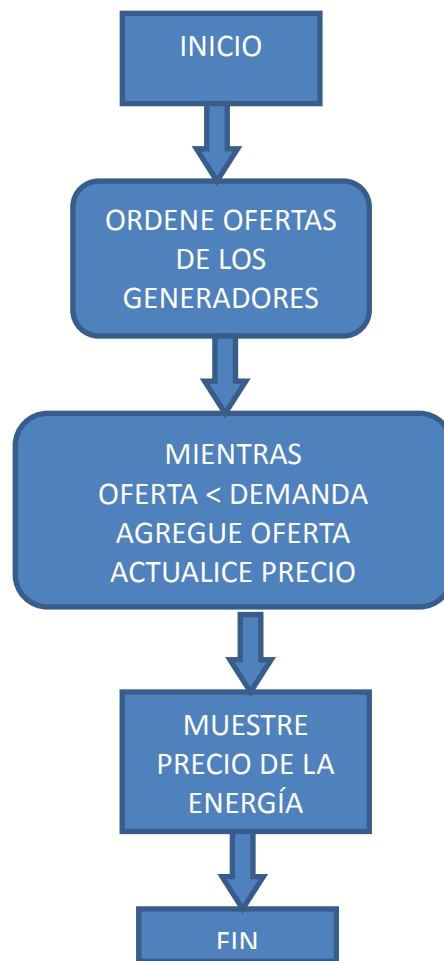


Figura 72. Algoritmo de despacho económico

La oferta está compuesta de dos elementos básicos, la cantidad de potencia eléctrica disponible para el día siguiente en MW y el precio de la energía en kWh. La demanda eléctrica es el resultado de un proceso de

predicción con base en el comportamiento histórico de la misma.

Aunque en Colombia existen otros mercados que forman parte del MEC (Mercado Eléctrico Colombiano) y existen otros precios (XM, 2009; Dyner et al, 2008), el modelo de simulación que se desarrolló en Dinámica de Sistemas implementó el algoritmo anterior para la definición del precio de la energía para el mercado de energía del día siguiente, basado solo en el despacho económico.

Es de precisar que este modelo forma parte de un modelo más grande, donde se consideraron otros aspectos del sector eléctrico como son: la hidrología, la economía y las subastas de energía en firme o mercado de capacidad para el largo plazo, entre otras. En este caso el modelo de precio realiza un despacho económico por tecnología y no por cada una de las plantas de generación de energía eléctrica disponibles en el país.

Las tecnologías consideradas para definir la oferta fueron, hidráulica y térmica, en este último caso, la estructura de costos de las plantas térmicas fue considerada, cuyos valores dependen del comportamiento de la tasa representativa del mercado (TRM), el índice de precios al consumidor (IPC) y del comportamiento del precio de los combustibles.

La oferta térmica se modeló con diferentes tecnologías y ubicaciones, dadas sus características en Colombia: térmica a gas ciclo simple en la costa, térmica a gas ciclo combinado en la costa y la misma división para el interior. También se consideró la oferta térmica a carbón y a fueloil.

2.1 SUPUESTOS DE LA SIMULACIÓN

Toda la generación hidráulica sale despachada porque se asumió que ésta se oferta a un menor precio que la térmica y su variación depende de los escenarios hidrológicos definidos en el modelo sectorial al que pertenece este modelo de precio.

Las plantas menores como las renovables y pequeñas centrales hidroeléctricas, entre otras, fueron agregadas en una categoría que siempre sale despachadas porque lo considera la regulación.

La demanda resultante de restar a la total los dos pasos anteriores, es la que se atiende con las tecnologías térmicas consideradas.

Tanto la capacidad hidráulica como la térmica en sus diferentes tecnologías dependen de los escenarios de

expansión del modelo sectorial mencionado anteriormente.

2.2 CONFIGURACIÓN DE LA SIMULACIÓN

El modelo se desarrolló para un horizonte de tiempo de 25 años, con paso de simulación mensual, iniciando en enero de 2007.

3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

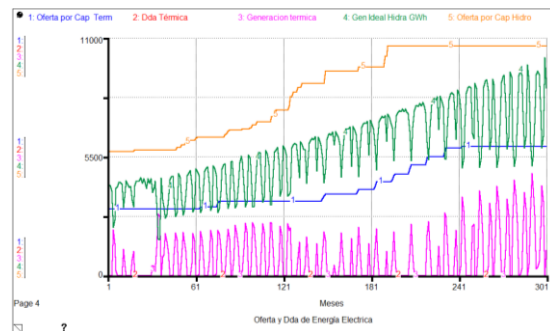


Figura 73

En la se presenta el comportamiento de la oferta térmica o disponibilidad, la generación térmica, la generación hidráulica y la demanda de energía que debe ser atendida por las tecnologías térmicas. Se puede observar allí que la demanda se satisface en todo instante de tiempo y que la generación nunca supera la disponibilidad ofertada.

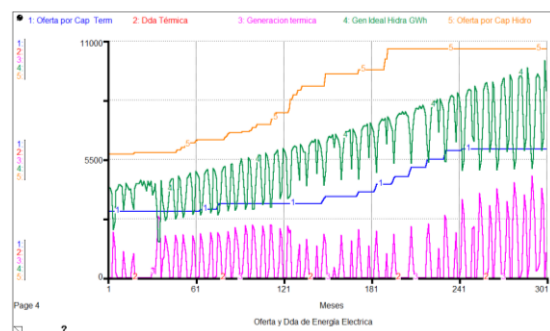


Figura 73 Oferta y Demanda de energía eléctrica

Específicamente se muestra en la Figura 74 el comportamiento de la capacidad ofertada y la cantidad de energía despachada en la costa por medio del ciclo combinado. Los espacios entre las diferentes líneas de generación corresponden a los periodos en los cuales dicha tecnología no salió despachada.

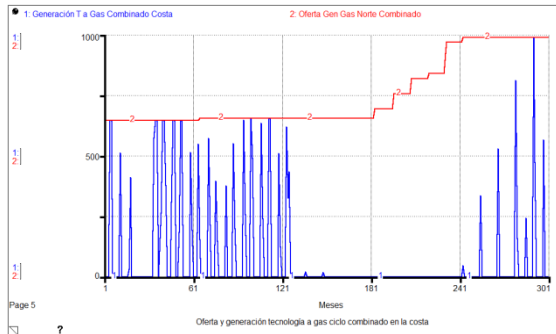


Figura 74 Oferta y generación tecnología a gas ciclo combinado en la costa

Entre los resultados del modelo se presenta a continuación en la Figura 75, el comportamiento del precio de la electricidad en su valor real y el aproximado, entregado por el modelo de simulación desarrollado. Se graficó con datos reales de los últimos 3 años para prueba de su consistencia y validación el precio de la energía eléctrica en Colombia.

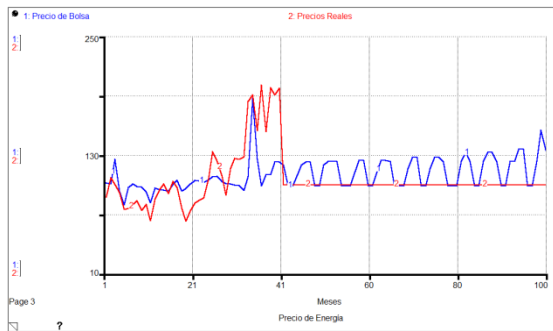


Figura 75. Precio de la electricidad (Real vs Simulado)

Para una mejor comprensión del comportamiento del precio de la electricidad se presenta en la Figura 76 la media móvil semestral correspondiente

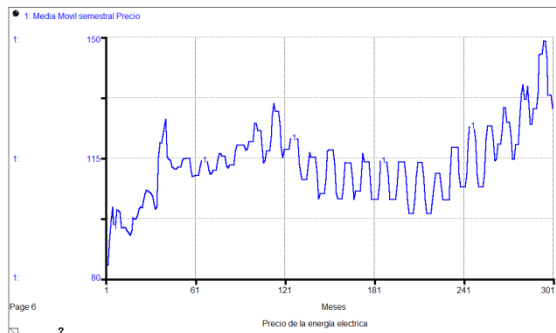


Figura 76. Precio de la energía eléctrica

4. CONCLUSIONES

El modelo de precios desarrollado emula en gran parte el comportamiento del precio de la electricidad para los años de calibración, entre años 2007 y 2009, a partir de allí el modelo realiza su proyección resultado del comportamiento del mercado.

Bajo la premisa de interés sobre el análisis del mercado para el largo plazo, la consideración de un despacho económico por tecnología resultó ser una aproximación adecuada al despacho económico real que se realiza en el MEC con todas las plantas de generación.

5. REFERENCIAS

- [1] DYNER, I.; FRANCO, C. y ARANGO, S. El mercado mayorista de electricidad colombiano, Primera Edición. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2008, p. 61.
- [2] ARANGO, Santiago; DYNER, Isaac; LARSEN, Erick (2006). Lesson from the regulation in South America: Understanding hydro based electricity markets. Utilities Policy.
- [3] FRANCO, C.; DYNER, I.; SMITH, R.; BEDOYA, L.; ARANGO, S.; MONTOYA, S.; OCHOA, P. (2000) Microworld for training traders in the Colombian electricity market. Proceedings of the 18° International Conference. Sustainability in the Third Millenium. Bergen Norway. System Dynamics Society.
- [4] DYNER I.; OCHOA, P.; BEDOYA, L.; ARANGO, S.; FRANCO, C.; VARGAS, B. (2001). "Energibiz: strategy and risk management in electricity trading." En: Estados Unidos. 2001. Evento: The 19th International Conference of the System Dynamics Society Ponencia: Libro: Proceeding of the The 19th International Conference of the System Dynamics Society, System Dynamics Society, pp. 1 - 15.
- [5] DYNER, I.; ARANGO, S. y FRANCO, C. (2007). Can a Reliability Charge Secure Electricity Supply? An SD-based assessment of the Colombian power market. The 2007 International Conference of the System Dynamics Society and 50th Anniversary Celebration July 29 – August 2, Boston, Massachusetts, USA.

- [6] DYNER, I.; FRANCO, Carlos; ARANGO, Santiago (2008). El mercado mayorista de electricidad colombiano. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 1 Ed. Medellín Colombia.
- [7] FRANCO, C.; DYNER, Isaac; HOYOS, Santiago. Evaluation of the Energization Impact in the Colombian Southwest. A Case of Application Using Simulation. The 24rd International Conference of the System Dynamics Society. July 23 - 27, 2006 – Nijmegen. Holanda.
- [8] FRANCO, C.; DYNER, Isaac; HOYOS, Santiago. Contribución de la energía al desarrollo de comunidades aisladas no interconectadas: Un caso de aplicación de la Dinámica de Sistemas y los medios de vida sostenibles en el Suroccidente Colombiano. Revista Dyna. 154 Ed. Marzo de 2008.
- [9] FRANCO, C., & BECERRA, D. (2008). Un estado del arte para el modelado de señales de expansión de generación en mercados de electricidad. Reflexiones y aplicaciones de la Dinámica de Sistemas en Colombia. VI Congreso colombiano de Dinámica de Sistemas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- [10] FRANCO, C, & CARDONA, D. (2008). Micromundo para la simulación de una bolsa de energía. Reflexiones y aplicaciones de la Dinámica de Sistemas en Colombia. VI Congreso colombiano de Dinámica de Sistemas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- [11] MILLÁN, Jaime (2006). Entre el Mercado y el Estado: tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina. Departamento de desarrollo sostenible. Banco Interamericano de desarrollo. Washintong. DC. 2006.
- [12] NACIONES UNIDAS. (2003) Energía y desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe – Guía para la Formulación de Políticas Energéticas. Primera Edición. NACIONES UNIDAS–CEPAL–OLADE–GTZ. Santiago de Chile. 2003.
- [13] WORD BANK. (2003) “Beyond Economic Growth. Meeting the Challenges of Global development”. <http://www.worldbank.org/depweb/beyondsp/contents.html>. 2003
- [14] GARCÍA, Alfredo; ARBELÁEZ, Luis (2002). Market Power Analysis for the Colombia Electricity Market. Energy Economics. Elsevier.
- [15] LARSEN, E. & BUNN, D. (1999). Deregulation in electricity: understanding strategic and regulatory risk. Journal of the Operational Research Society, 50(4), 337-344.
- [16] OLSINA, Fernando; GARCÉS, Francisco, HUBRICH, H. J. (2006). Modelling long-term dynamics of electricity markets. Energy Policy.
- [17] Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución 055/94 024/95 135/97 071/ 2006. Bogotá, Colombia.

ECOLOGÍA Y AMBIENTE

Modelo de Dinámica de Sistemas para las hierbas orgánicas - la manzanilla

System Dynamics Model for organic herbs - la manzanilla

Isaac Huertas Forero., Msc; Celina Forero, esp; Mario Ramón Verástegui

isaachuertasf@hotmail.com; celincmc@yahoo.com
marioramon@gmail.com semillero

Resumen: el objeto de estudio en este trabajo es el manejo de la articulación de una cadena productiva de las hierbas orgánicas. Debido a las grandes oportunidades que existen de la producción y comercialización de estas hierbas, en un país agrícola por excelencia como es Colombia, la importancia de implementar y aumentar la productividad en los campos tan abandonados en las últimas décadas, crea un nuevo espacio en la economía nacional para incrementar la producción de estas hierbas orgánicas utilizadas para la salud, alimentación y condimentarias; por tal razón se diseña un modelo en Dinámica de Sistemas el cual optimiza el uso de los recursos de la producción, utilizando en forma adicional los riesgos financieros de los mercados a los que se ve abocado la cadena de la producción.

Palabras clave: agrícola, cadena logística, hierbas orgánicas y riesgos financieros.

Abstract: the aim of this paper is to study the joint management of a production chain of organic herbs. Due to the great opportunities that exist for the production and marketing of these herbs, in an agricultural country par excellence as Colombia, the importance of implementing and increase productivity in fields as abandoned in recent decades, creates a new space in the National Economy to increase the production of these organic herbs used for health, food and seasoning, for that reason we design a system dynamics model which optimizes the use of production resources, using additional way to Financial Risks that doomed the chain of production

Key words: agricultural, supply chain, organic herbs and financial risks.

1. INTRODUCCIÓN

Se entiende por hierbas las plantas con propiedades útiles que se pueden emplear como medicamentos, aromatizantes, aderezos o con fines terapéuticos, incluyendo las plantas comestibles.

Estas hierbas orgánicas han sido cultivadas mediante técnicas que favorecen las fuentes naturales de fertilidad del suelo, sin el uso de agroquímicos contaminantes; de manejo ecológico que va desde la selección de las semilla hasta la venta del producto.

En este artículo se presenta un modelo de la cadena de producción para el cultivo de las hierbas orgánicas, caso particular la manzanilla, aplicando la Dinámica de Sistemas, para tal fin se desarrolló el diagrama causal y el modelo de Forrester para cada componente de la cadena; se utilizó la herramienta tecnológica Stella para su desarrollo, adicionando los efectos de los riesgos del mercado como son: el clima, el riesgo absoluto medido por la pérdida potencial en términos económicos y el riesgo relativo, relacionado con un índice base.

2. MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA CULTIVO DE HIERBAS ORGÁNICAS

Cadena Productiva de las hierbas orgánicas-manzanilla.

2.1 AGRICULTURA DE HIERBAS Y PLANTAS

Como punto de partida se describe a las plantas como organismos vivientes autosuficientes, que pertenecen al mundo vegetal y que se encuentran y pueden habitar en la tierra o en el agua. Son ellas mismas capaces de producir sus propios alimentos a través de

un proceso químico llamado fotosíntesis, que consiste básicamente en la elaboración de azúcar a partir del CO₂ (dióxido de carbono), minerales y agua con la ayuda imprescindible de la luz del sol.

En nuestro planeta Tierra existen más de 300.000 especies de plantas, de las cuales más de 250.000 producen flores y tienen un papel fundamental en la historia de la vida, pues son las responsables de la presencia del oxígeno, necesario para la mayoría de seres que poblamos actualmente la tierra y que nos permite respirar, además han contribuido a la formación de la capa de ozono, que nos protege de los nocivos rayos ultravioleta. Y finalmente, son ellas las que nos han protegido durante muchos milenios del "calentamiento global" al absorber el exceso de dióxido de carbono.

Se depende entonces como seres vivos de las plantas, sin ellas no podríamos alimentarnos, ya que directa o indirectamente lo que se come procede de los vegetales, porque ellos son los productores dentro de la cadena trófica o cadena alimentaria que a continuación se observa. Figura 1.

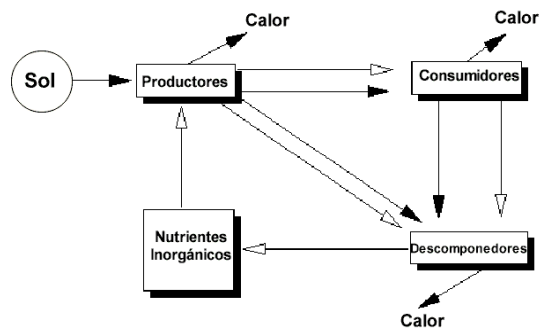


Figura 1.

En esta cadena trófica se evidencia que si como seres nos alimentamos con carne animal, procede de un animal que se ha alimentado con hierbas; si se come alimentos vegetales son producidos directamente por las hierbas y los cereales y frutas provienen también del reino vegetal, así que realmente estamos ligados a las plantas claramente.

Para algunos autores como Miller y Gables, los términos hierbas y plantas son sinónimos, para otros como Caudet y Gallardo las hierbas son subconjuntos del conjunto de plantas que están relacionadas con un área determinada, ya sea aromáticas en general, aromática medicinal o aromática condimentaria.

Entre estas hierbas se encuentran la manzanilla, que es una planta aromática, muy ramificada, de porte erguido que alcanza alturas entre 30 y 60 cm. Las hojas son sésiles, alternas. Los capítulos florales son

sostenidos por largos pedúnculos pequeños, con receptáculo cónico y hueco. Las flores están en una cabezuela; con el disco de color amarillo oscuro, cónico y hueco en la fructificación. Las flores periféricas son liguladas y blancas, las centrales son hermafroditas, amarillas y tubulares. Figura 2



Figura 2. Manzanilla

2.2 FICHA TÉCNICA

Tierra de cultivo. El lote de cultivo por lo general son lomas o algunas planicies (franco arenoso, arenoso arcilloso, húmidos). Su pH óptimo para su crecimiento es de **ligeramente alcalino a alcalino (pH de 7,1 a 8)**

La manzanilla es una especie plástica que se adapta a diversos climas, aunque el mayor rendimiento y la mejor calidad se obtienen en clima templado a templado-cálido (temperatura media anual entre 15 y 23°C) y condición de sub-húmedo.

La semilla de manzanilla tiene diferentes orígenes, pero la de mayor importación es la europea. Respecto a la cantidad de semillas por hectárea empleadas para la siembra, es común de 5 a 6 kg/hectárea.

Las maquinarias que se utilizan para el cultivo de la manzanilla son la Alfanera, Brillon y Dari. Estas tres máquinas están predispuestas para la separación entre plantas y surcos de la hectárea a cultivar. Las plantas deben estar a una distancia de 15 cm y los surcos de 20 cm.

La manzanilla no tolera niveles altos de fertilidad ni un agregado excesivo de fertilizantes, porque como consecuencia se tendrá una mala floración. Lo ideal para una sola hectárea de cultivo es 60 Kg de Nitrógeno (N), 90 Kg de Fósforo (P) y 130 Kg de Potasio (K).

El control de plagas es importante, ya que los gusanos del suelo ocasionan graves daños al comer o cortar las raíces de las plántulas. Este control se

puede realizar mediante la incorporación de heptacloro o aldrín en presiembra.

Formas de cosechas: Con peine metálico, con carrito recolector de tracción humana, con carrito recolector de tracción animal y máquinas cosechadoras automotrices.

Máquinas automotrices: con barra cosechadora a dientes, con barras de corte tradicional.

El transporte del producto cosechado: la manzanilla debe ser transportada en el menor tiempo posible al secadero, debido a los problemas de fermentación y consecuente deterioro. Los cultivos deben estar ubicados próximos a rutas pavimentadas y a distancias moderadamente cercanas de la planta industrial.

Las flores de primera calidad se exportan en cajas de cartón corrugado de 15 a 20 Kg. Las flores restantes, o de segunda calidad, suelen embalarse en cajas forradas en su parte interna con plástico y algo prensadas y llegan a los 50 Kg. No hay reglamentación al respecto y el embalaje se realiza según costumbres y acuerdo entre partes (Plan Hortícola Nacional PHN 2.006).

3. CADENA LOGISTICA

El mercado de las hierbas aromáticas en Colombia se encuentra estructurado por una cadena productiva con los siguientes escenarios: Figura 3



Figura 3. Fuente Gobernación del Valle. Investigación

3.1 PRODUCTORES PRIMARIOS

Representados por los campesinos y agricultores de las diferentes zonas geográficas, que tienen sus fincas o parcelas en las que dedican algunos metros o hectáreas de tierra para la siembra y cultivo de las plantas y hierbas aromáticas.

En este mismo eslabón de la cadena productiva se encuentran las asociaciones de agricultores o productores, EATS y fundaciones.

3.2 SERVICIOS

Representados por los proveedores que ofrecen la transferencia de tecnología, investigación, universidades, centros de desarrollo tecnológico, Secretaría de Salud, de certificación- INVIMA-biotrópico, CCI, mercadeo, exportaciones-Proexport.

3.3 COMERCIALIZADORES

De producto en fresco y/o transformado, galerías, mercado especializado e industria

3.4 MÉDICOS

Centros de medicina alternativa, clínicas.

3.5 DISTRIBUIDORES

Tiendas naturistas, centros médicos y supermercados

3.5 INDUSTRIALES LABORATORIOS DE SÍNTESIS

Productos naturales alimenticios, productos naturales farmacológicos y productos naturales cosméticos.

Cada uno de estos eslabones hace parte de la cadena productiva, dando origen a un sistema de clúster del sector y su cadena logística se encuentra determinada por los procesos y sistemas de negociación y comunicación, generados en el desarrollo y flujo físico de los productos hierbas y plantas aromáticas, a través de los diferentes sistemas de distribución para proveer a los productores primarios de los insumos, a los centros de acopio y abastecimiento de los productos provenientes de las fincas.

En la cadena logística de las hierbas aromáticas se encuentran incluidos, igualmente, los sistemas de transporte, embalaje requeridos para los proveedores, los productores primarios, los centros de comercialización y distribución para acercar el producto a los consumidores finales, médicos e industriales (investigación realizada por la Secretaría de Agricultura y Pesca, de la Secretaría de Agricultura de la Gobernación del Valle del Cauca).

4. PROBLEMA

En la actualidad se conoce el rendimiento de la producción de una hectárea de manzanilla, pero no la capacidad necesaria para satisfacer el mercado nacional e internacional. Parece que la capacidad instalada la determinan por el método del tanteo, según las fluctuaciones de la demanda en determinada región del país, en este caso en el departamento de Cundinamarca.

Para dar respuesta a este análisis, por ahora debido a que a la fecha se están tomando los datos en la región, se simula con el comportamiento de la producción en una hectárea.

5. METODOLOGÍA

A partir del modelo de la cadena logística propuesto en la investigación de la Gobernación del Valle y su adaptación al comportamiento de Hierba Orgánica la Manzanilla, se realizó el modelo causal general, y la identificación de las seis redes de interconexión para la construcción del modelo de Forrester apoyado en stella.(Forrester, 1.972).

6. MODELO CAUSAL

En la figura 4 se presenta el diagrama causal que muestra la interacción entre las variables y su relación directa e indirecta. Variables que se deben resaltar, son la utilidad con relación a los egresos e ingresos de los cultivos, y los riesgos existentes dentro del mercado, así como la mano de obra, transporte, calidad, entre otras. Esta herramienta ayuda a determinar la importancia de cada una de las variables y el comportamiento que tiene entre ellas.

7. MODELO DE FORRESTER

Este modelo se compone de varios subsistemas; a continuación se describen algunos de ellos, cuyos procesos generan el crecimiento o decrecimiento de un nivel del total de la producción, figura 5, y de operaciones que generan procesos que se convierten en la cadena logística de la producción de la manzanilla y los riesgos financieros que intervienen en cada uno de ellos, como en el caso de la producción, el clima, que hoy en día a pesar de que la planta se cultiva en una temperatura entre 18 y 22 grados centígrados, pueden ocurrir cambios exógenos incontrolables que pueden ocasionar grandes pérdidas.

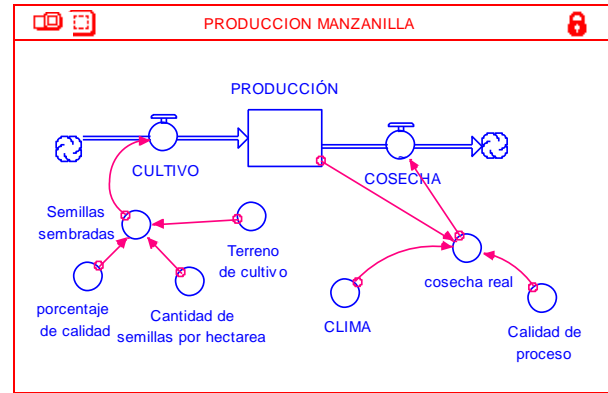


Figura 5.

De acuerdo con lo anterior, la contratación del recurso humano directo figura 6, depende de la producción, como a su vez las ventas son generadas por los volúmenes, cuya intervención incluye recurso humano indirecto.

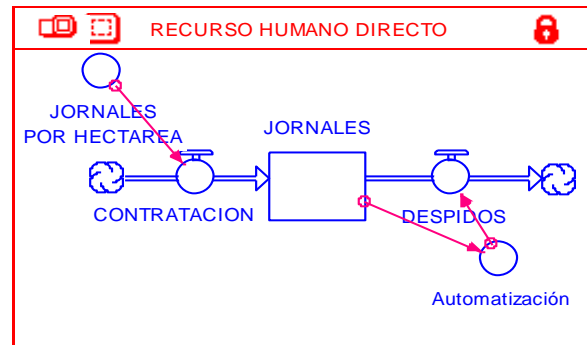


Figura 6.

Según el comportamiento de la producción, ésta genera inventarios, que pueden aumentar o disminuir de acuerdo con las ventas, figura 7, y el tiempo de almacenamiento conduce a un riesgo de pérdida por su descomposición.

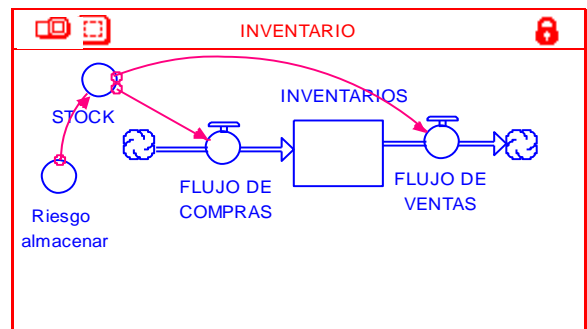


Figura 7.

Dependiendo del mercado, si es nacional o internacional, se debe empaquetar en forma diferente, cuyo empaque se puede realizar en la planta de producción o en lugar diferente, el cual puede generar disminución en los niveles de rendimiento del producto figura 8.

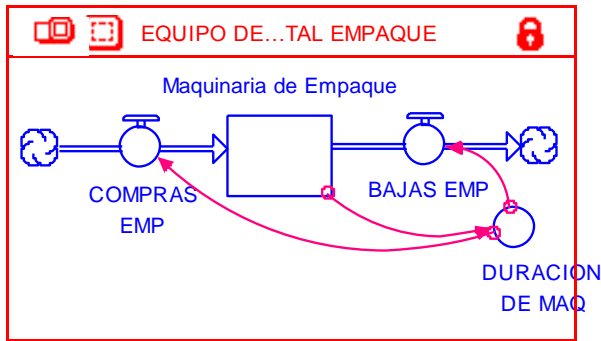


Figura 8.

Como se pudo observar en algunos de los subsistemas descritos anteriormente, requieren inversión de flujo de dinero. Mientras que las ventas generan ingresos y la diferencia resultante de estos dos representa la utilidad, ya sea positiva o negativa, figura 9.

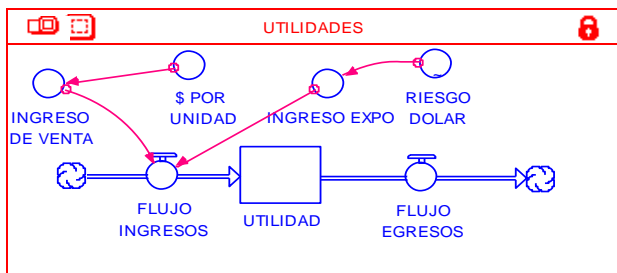


Figura 9.

8. RESULTADOS

Una vez desarrollada la cadena logística de la producción de la planta hortícola de Manzanilla, partiendo del cultivo de una hectárea, manejando los costos reales que ocasionan en cada uno de los subsistemas y contemplando un riesgo relativo en cada uno de ellos, en condiciones normales se realizó una simulación para un periodo de 26 meses, teniendo en cuenta que la totalidad de la producción es vendida; genera utilidades hasta ese periodo debido a que no se cuenta con inventarios a esa fecha, como se aprecia en la figura 10.

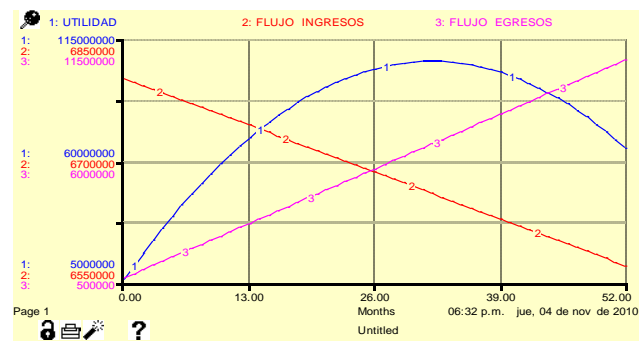


Figura 10.

9. CONCLUSIONES

Las empresas dedicadas a las hierbas orgánicas han tomado una dinámica importante en los últimos cinco años, debido al Plan Hortícola Nacional del 2006 que presenta las oportunidades y los manejos para que se comercialice este tipo de hierbas a nivel nacional e internacional.

Considerando la importancia relativa de este tipo de empresas, se hace cada vez más importante desarrollar mecanismos y modelos matemáticos que permitan simular las diferentes soluciones para optimizar esta cadena de productividad.

10. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MUNICIPIO DE UBAQUE. Patrimonio ecológico y cultural. [en línea], [Citado el 23 de marzo de 2009], disponible en: <<http://ubaque-cundinamarca.gov.co>>

ADMINISTRACIÓN DE DROGAS Y ALIMENTOS DE ESTADOS UNIDOS (FDA – por sus siglas en inglés), aditivos en los alimentos. Consejo Internacional de Información de Alimentos. [en línea], [citado el 2 de marzo de 2009], disponible en: <<http://www.cfsan.fda.gov/~mow/sfoodadd.html>> .

ARACIL, Javier. Introducción a la Dinámica de Sistemas, Editorial Alianza, 1982.

ASOCIACIÓN DE HORTICULTORES Y FRUTICULTORES DE COLOMBIA - Asohofrucol [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <<http://www.asohofrucol.com.co/>> BRC - British Retail Consortium

ASTETE ORIHUELA, Cythia, 2006. Exportación de páprika y sus derivados. [Documento electrónico].

Lima – Perú. [en línea], [citado el 2 de marzo de 2009], disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos35/exportacion-paprika/exportacion-paprika.shtml>>

BALCÁZAR, Álvaro, 2003. Transformaciones en la agricultura colombiana entre 1990 – 2002. Bogotá: Revista de Economía Institucional. Vol. 5, No. 9. Segundo Semestre. Universidad Externado de Colombia, 2003

BANCO MUNDIAL, 2004. *Rising Food Safety and Agricultural Health Requirements: Challenges and Opportunities for Developing Country Exports*. Septiembre 2004. [en línea], [citado el 2 de marzo de 2009], disponible en: <<http://www.oecd.org/dataoecd/5/24/34378759.pdf>>

CEPAL, 2002. Escalafón de la competitividad de los departamentos en Colombia: Informe Final. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <<http://www.elac.org/cgi-bin/>>

CODIGO ETI – Código de Ética. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <<http://www.ethicaltrade.org>>

CONPES 3375. Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias, y CONPES 3376. Política sanitaria y de inocuidad para las cadenas de la carne bovina y de la leche.

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <<http://www.corpoica.org.co>>

_____. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <www.cci.org.co. Bases de Datos SIM, SIA, SIPSA, INSUMOS>

CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. Caracterización del mercado hortícola en Reino Unido. Bogotá: Dirección de Mercados – documento interno. 2007.

_____. Manual del Exportador. 2005. – Documento digital. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <www.cci.org.co>

DAVID FRESH TECHNOLOGIES - Consultores Globales Hortofrutícolas [en línea], [citado el 15 de

marzo de 2009], disponible en: <<http://www.davisfreshtech.com>>

DIAZ RODRÍGUEZ, Alejandra y O'BRIEN, Tim M. Comisión para la promoción de exportaciones. Bogotá: 2004. 120 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2006. Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2006- 2010. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <http://www.dnp.gov.co/paginas_detalle.aspx?idp=890>

_____. Visión Colombia II Centenario: 2019. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <http://www.dnp.gov.co/paginas_detalle.aspx?idp=366>

EUREP GAP - Buenas Prácticas Agrícolas. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <www.eurep.org>

FORRESTER, JAY. Dinámica Industrial, Editorial El Ateneo, 1.961

GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA “Informe de Estadísticas Agropecuarias”, Bogotá; Imprenta Nacional, 2006. 150 p.

_____. Acuerdo de competitividad de la cadena de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines para el Departamento de Cundinamarca.

HACCP: Hazard Analysis Critical Control Points (Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos).

HURTADO CHOTA, Robert, La alcachofa en el Perú y el mundo. Universidad de San Martín de Porres. Facultad de Administración y Relaciones Industriales, Escuela de Administración de Negocios Internacionales. Perú. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos35/la-alcachofa/la-alcachofa.shtml>>

PROMPEX Y INTER-AMERICAN INSTITUTE FOR COOPERATION ON AGRICULTURE - IICA. Mejorando la competitividad y el acceso a los mercados de exportaciones agrícolas por medio del desarrollo y aplicación de normas de inocuidad y calidad. El ejemplo del espárrago peruano. Lima, Coronado. Julio. [en línea], [citado el 15 de marzo de

2009], disponible en:
<http://infoagro.net/shared/docs/a3/esparrago_peru.pdf>

RUIZ, Repetto, Ezpeleta, VILLARREAL, Medina. Estudio de factibilidad para la producción, procesamiento, mercadeo y comercialización de productos procesados de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias (PAMC), Departamento del Cauca. Bogotá D.C., abril de 2004.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA, Mejorando la competitividad y el acceso a los mercados de exportaciones agrícolas por medio del desarrollo y aplicación de normas de inocuidad y calidad. El ejemplo del espárrago peruano. Bogotá: ICA, 2004

KRIE, Jean Marie, 2005. Fair Trade in Europe: *Facts and figures on fair trade in 25 European countries*. [Documento electrónico].

<http://www.socialrights.org/article1400.html>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2007. Programa “Agro Ingreso Seguro”. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en:
<http://200.31.192.43/MinAgricultura/index.php>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2006. Apuesta Exportadora Agropecuaria. Bogotá, Imprenta Nacional, 2006. 150 p.

_____. Documento de trabajo No 82: La industria procesadora de frutas y hortalizas en Colombia. Observatorio de Agrocadenas en Colombia, 2005.

PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS PARA EL DISTRITO CAPITAL Y LA REGIÓN - PMAAB. Consorcio CPT-CIPEC, 2003.

PORTAL AGRARIO REGIONAL ICA. Información de cultivos en el Valle del ICA. Cultivo de Páprika. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en:
<<http://www.agroica.gob.pe/paprika.shtml>>

PORTER, Michael, 1990. La ventaja competitiva de las naciones. Harvard Business School

PLAN HORTÍCOLA NACIONAL - PHN - 515

PROGRAMA FORMACIÓN DE EDUCADORES, Manejo y poscosecha y procesamiento de frutas y

hortalizas.. Seminario Taller III. Universidad del Tolima. Dic. 2002.

SECRETARÍA TÉCNICA DE LA CADENA PRODUCTIVA DE HORTALIZAS, Acuerdo de Competitividad. Bogotá: Imprenta Nacional, 2006. 150 p.

STERMAN John, Business Dynamics Editorial Mc Graw Hill, 1.996.

VILLAREAL, René, América Latina frente al reto de la competitividad: Crecimiento con Innovación. En: Revista latinoamericana de ciencia, tecnología, sociedad e innovación. OEI. 2002

ZARRILLI, Adrián, 2003. La huerta de Europa. Mundo Agrario. [en línea], [citado el 15 de marzo de 2009], disponible en:
<org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1515-59942003000200004&lng=es&nrm=iso>

11. REFERENCIAS

[1] ORJUELA, Javier y HUERTAS, Isaac “Las empresas de prestación de servicios y la determinación de su capacidad de operaciones”; Tecnura; No 14; I semestre 2.004, pp 6-16.

[2] ORJUELA, Javier; HUERTAS, Isaac y otros, “Modelo de capacidades de la Banca”, IV Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas; México, nov. 2.004.

[3] HUERTAS, Isaac y RODRÍGUEZ, Nelson “Identificación y caracterización de residuos sólidos industriales de la localidad 19 de Bogotá, DC”, (Maestría); Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira 2.004.

12. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Piloto de Colombia por el apoyo incondicional para realizar esta investigación interdisciplinaria entre las ingenierías de Mercados y Financiera.

13. CURRÍCULUM

Isaac Huertas Forero. Magister en Investigación de operaciones y estadística, U. Tecnológica de Pereira y estadístico de la U. Nacional de Colombia, con una experiencia Bancaria de 25 años y de docencia de 27

años en diferentes universidades de Bogotá, profesor de Maestría , especialización y de pregrado, iniciando la investigación desde el año 2006 a la fecha con 3 investigaciones, una finalizada que se presentó al IV congreso de Dinámica de Sistemas y dos en curso, una de ellas que se presenta al 8 congreso de Dinámica de Sistemas en la ciudad de Medellín Colombia.

Celina Forero. Especialista en Investigación de Mercados, Fundación Unilatina, profesional en Mercadeo y Publicidad, Universidad Jorge Tadeo Lozano; presta sus servicios de asesoría, consultoría e investigación de mercados cualitativos y cuantitativos.

Modelo de producción de palma de aceite

Production model of oil palm

Sebastián Zapata R., Ing, Carlos J. Franco C PhD., Ana M. Flórez B MSc
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
szapatar@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co, florez.anam@gmail.com

Resumen: En este trabajo mediante la Dinámica de Sistemas se analiza el comportamiento del mercado de la palma de aceite en Colombia. Además, de la competencia del mercado entre el consumo para alimentos, producción de biocombustibles y exportaciones, buscando políticas que contribuyan al aumento de la oferta de biodiésel proveniente de esta materia prima.

Palabras Clave: palma de aceite, biodiésel, Dinámica de Sistemas.

Abstract: In this work a system dynamics model is used to analyze the behavior competition of the palm oil in Colombia. The market for foods is included, as well as production of biofuel and the exports, looking for policies that contribute with the increasing of offer of the biofuel.

Key words: oil palm, biofuel, systems dynamic.

1. LA PALMA DE ACEITE

La palma de aceite proviene de la zona media de África, es muy utilizada en la producción de aceite comestible y también sirve como materia prima en la elaboración de otros productos como los cosméticos, detergentes y el biodiésel.

El cultivo de palma de aceite se presenta como una muy buena alternativa, ya que el treinta por ciento del consumo de aceites comestibles por el ser humano proviene de esta planta, siendo el segundo más consumido en el mundo [1]. Por otro lado, al uso del aceite de palma como materia prima para la producción de biodiésel aprovecha sus muy buenas propiedades químicas, además de tener bajos costos y el mejor rendimiento por hectárea respecto a otras materias primas que se utilizan para la elaboración de aceites como lo son el girasol, la soya, entre otros. [1]

2. LA PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA

Colombia cuenta actualmente con 364.000 hectáreas sembradas de palma de aceite, y se tiene el apoyo del Estado para que se continúe con la siembra de ésta. Colombia presenta una amplia disponibilidad de tierras para la siembra de palma de aceite con un total de 3'500. 000 hectáreas sin afectar la agricultura que se tiene actualmente ni los recursos naturales [2]. Además, Colombia es el primer país productor de palma de aceite en Latinoamérica y el cuarto país productor a nivel mundial, sin embargo, su nivel de producción no es suficiente para afectar el mercado internacional y esto provoca que el precio de los productos de la palma como el aceite de palma y palmiste (el aceite de palma proviene del fruto de la palma, y el aceite de palmiste proviene de la semilla del fruto) venga dado por una regulación que depende del precio internacional de estos productos [8].

La siembra de palma de aceite se presenta en una gran cantidad de regiones del país, se han dividido en cinco regiones de acuerdo a su costo y rendimiento por hectárea. Las cinco regiones corresponden a: Región 1 costa pacífica colombiana, Región 2 corresponde a la zona central colombiana, Región 3 pertenece a la zona oriental colombiana, Región 4 corresponde a la costa atlántica y la Región 5 se encuentra en los municipios de Antioquia y Chocó, como se muestra en la **Figura 1**. [5]

En Colombia se empezó a sembrar palma de aceite para la producción de biodiésel a partir del año 2007, en el cual se exigió que la mezcla de diésel debe ser B5 [10], lo que significa que la mezcla de diésel debe contener al menos un cinco por ciento de biodiésel, con el fin de reducir la contaminación producida por el diésel debida a su baja calidad.

Actualmente la mezcla exigida es de B10, un diez por ciento de la mezcla del diésel debe contener biodiésel [7]. Con la producción de biodiésel se busca reducir la emisión de gases de efecto invernadero reduciendo la contaminación y apoyando la siembra de la planta para el reemplazo de cultivos ilícitos.

Gracias al apoyo del gobierno colombiano y a la exigencia de la mezcla para los combustibles, se generan condiciones favorables para la producción de biodiésel y estímulos a la producción, comercialización y consumo de este producto [3].

Aunque con lo que se tiene sembrado actualmente en palma no es posible alcanzar la meta de B10 que propone el gobierno Colombiano, Colombia cuenta con la suficiente disponibilidad de tierras para ser un gran productor de biodiésel, sin afectar la seguridad alimentaria del país. [9].

Actualmente Colombia cuenta con las siguientes plantas de refinación de biodiésel.

Empresa	Capacidad(ton/año)	Área sembrada (Ha)
Oleoflores	50.000	11.111
Odín Energy	36.000	8.000
Biocombustibles sostenibles del caribe	100.000	22.222
BIO D	100.000	22.222
Ecodiésel de Colombia	100.000	22.222
Clean Energy	30.000	7.000
Aceites Manuelita	100.000	22.222

Tabla1 Empresas refinadoras de Biodiesel [11]



Figura 1. Regiones de Siembra de Palma de aceite

3. MODELO

Se construyó un modelo de Dinámica de Sistemas con el fin de estudiar el comportamiento del aceite de palma y proponer diferentes políticas que ayuden a que se produzca un incremento en la oferta de biodiésel sin afectar lo que se dedica para el consumo humano.

Se desarrolló un modelo de Dinámica de Sistemas debido a que el mercado del aceite es un sistema complejo y dinámico que cambia con el tiempo, dependiendo de diferentes variables [7] con las siguientes características:

- Ciclos de realimentación.
- Importantes retardos.
- La existencia de procesos de múltiples participantes en la toma de decisiones. [4]

3.1 SUPUESTOS DEL MODELO

- Se debe cumplir la demanda de aceite de palma para alimento antes que alguna otra.
- Se cuenta con la totalidad de capacidad instalada para la producción de biodiésel.
- Cuando haya una brecha entre la demanda y la oferta y sea rentable la producción de aceite de palma, se siembra palma de aceite para atender la totalidad de la demanda en el futuro.
- Se realizó una simulación con un horizonte de diez años con un paso de tres meses.

3.2 HIPÓTESIS DINÁMICA

En la figura 2 se muestra el diagrama causal de producción de palma de aceite, se muestran sus principales variables y cómo interactúan entre ellas para mostrar el comportamiento del sistema, en este diagrama podemos observar tres ciclos de balance.

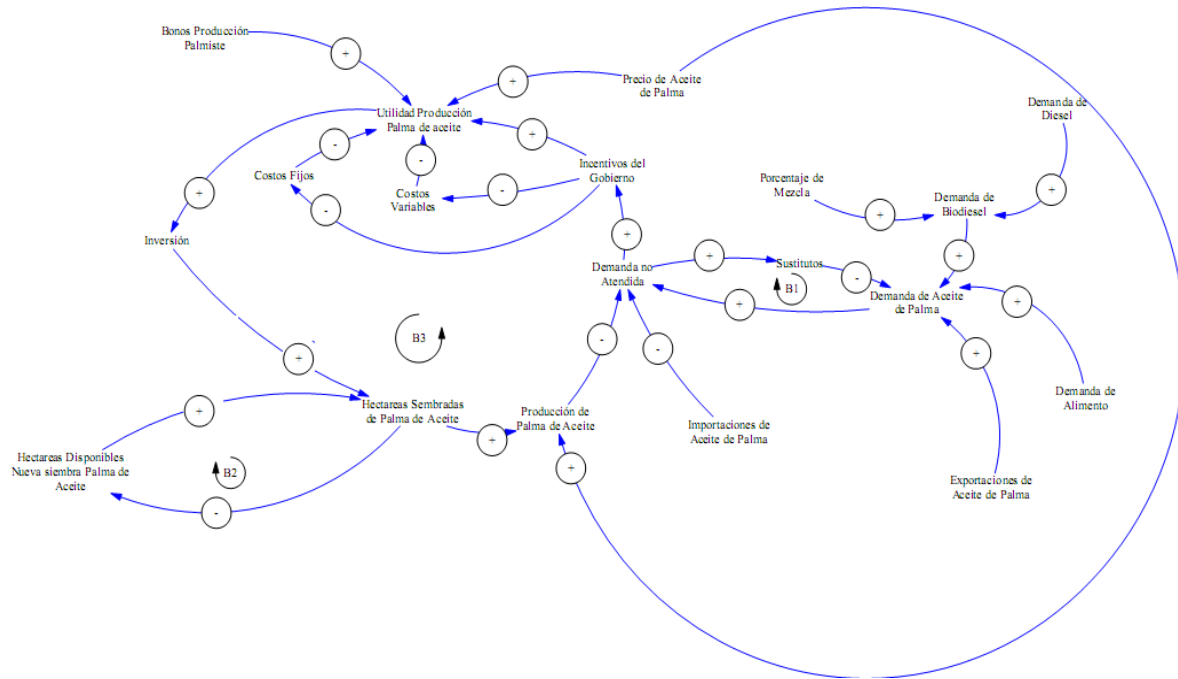


Figura2. Diagrama causal de producción de palma de aceite. Fuente: elaboración propia.

B1: demanda no atendida, sustitutos, demanda aceite de palma, demanda no atendida, en este ciclo se muestra que la demanda de aceite de palma se ve afectada negativamente cuando hay más sustitutos en el mercado, cuando hay más demanda aumenta la demanda no atendida.

B2: entre hectáreas disponibles, nueva siembra de palma de aceite y hectáreas sembradas de palma de aceite, este ciclo es una restricción en el sistema para que no se siembren más hectáreas de las que son posibles.

B3: inversión, hectáreas sembradas de palma de aceite, producción de palma de aceite, demanda no atendida, incentivos del Gobierno, utilidad producción de palma de aceite, inversión. Como se puede observar, el precio en este modelo es una variable exógena, ya que es regulado y éste depende exclusivamente de los precios internacionales del aceite de palma, la principal fuente de ingresos aparte del precio son los incentivos que el Estado o el Gobierno da por la producción del producto.

4. RESULTADOS DEL MODELO

Para la demanda de diésel se utilizaron dos escenarios, un escenario de crecimiento económico alto, **tabla 2**, y otro escenario caso base (tendencial) **tabla 3**, se tiene una demanda per cápita de trece kilogramos de aceite de palma [5].

Año	Barriles por año
2010	41.494.550
2011	42.829.721
2012	44.193.871.5
2013	45.844.219
2014	47.664.328
2015	49.561.890
2016	51.534.861
2017	53.429.977.5
2018	55.587.894
2019	57.819.066
2020	59.834.523

Tabla 2 Demanda de diésel crecimiento económico alto (Ministerio de minas y energía 2008).

Año	Barriles por año
2010	41.494.550.5
2011	42.829.720.5
2012	44.190.586.5
2013	45.844.255.5
2014	46.470.814.5
2015	49.561.926.5
2016	51.534.897.5
2017	53.397.127.5
2018	55.587.894
2019	57.819.102.5
2020	59.834.194.5

Tabla 3. Demanda de diésel caso base (Tendencial) (Ministerio de minas y energía 2008).

El modelo presenta los siguientes resultados.

4.1 CON UN PORCENTAJE DE MEZCLA AL B10

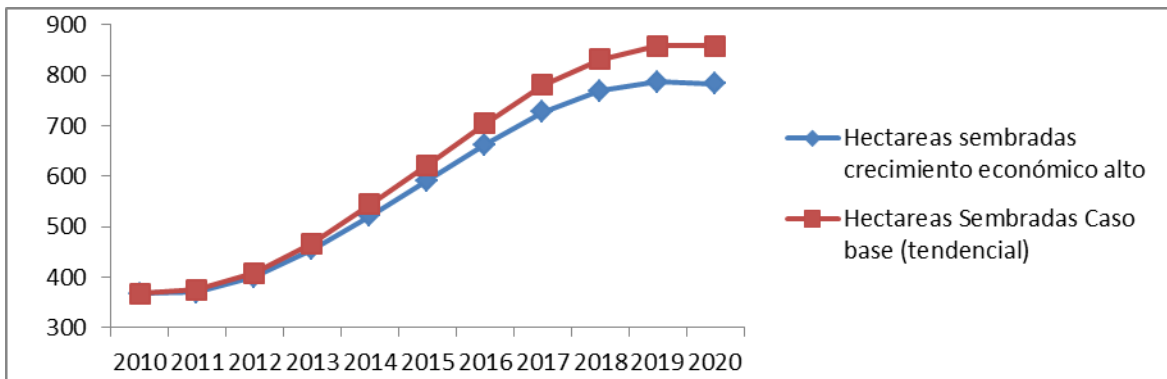


Figura3 Miles Hectáreas sembradas de palma de aceite para B10.

Como se puede observar en la **figura 3**, se tiene un crecimiento y luego se llega a una estabilidad, esto ocurre cuando se cubre la demanda de alimento, y el porcentaje de mezcla en el diésel B10.

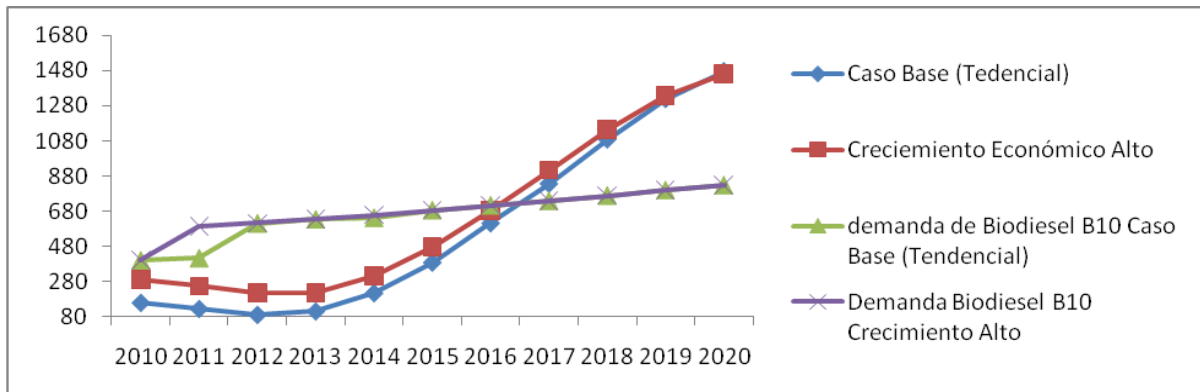


Figura4. Oferta y demanda de biodiésel en miles de toneladas por año

En la **figura 4** se observa que la oferta de biodiésel está por debajo de la demanda hasta el año 2017, pero desde este año se tiene un gran aumento en la oferta, alcanza a sobrepasar la demanda, y luego se estabiliza la oferta, ya que se cubrió la demanda y se tiene una sobreproducción.

4.2 CON UN PORCENTAJE DE MEZCLA AL B20

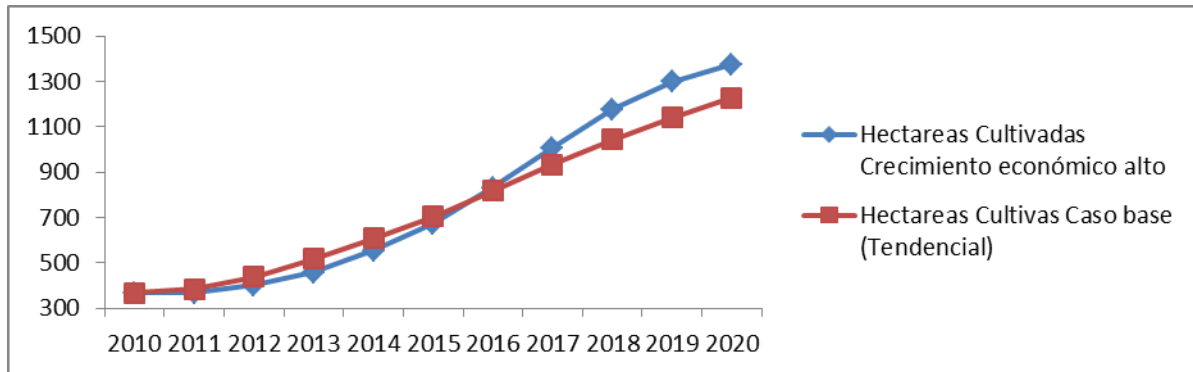


Figura 5. Miles de hectáreas sembradas de palma de aceite para B20.

En la **figura5** se observa un crecimiento en las hectáreas sembradas, al final del tiempo de simulación y pareciera que se estabiliza la siembra, debido que se cubrió la demanda de los diferentes productos.

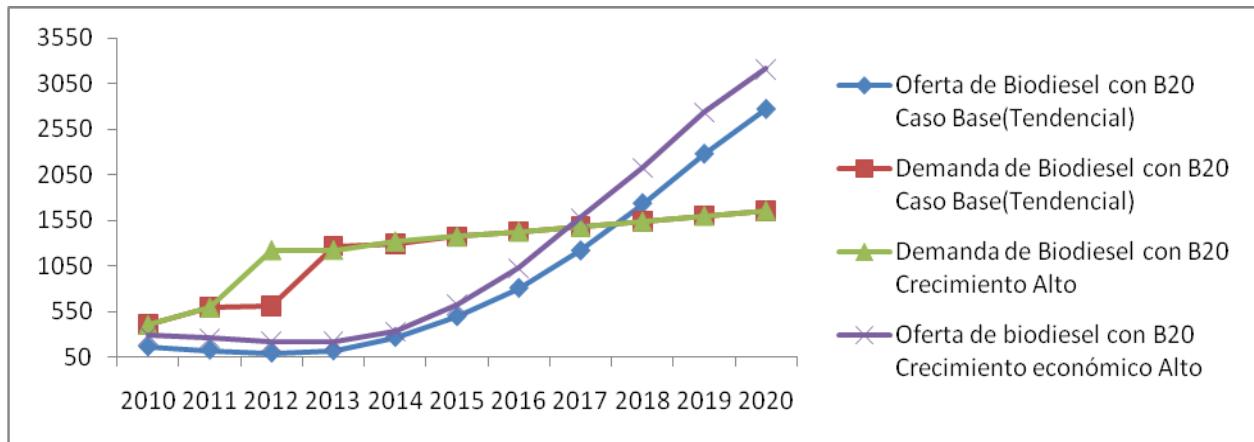


Figura 6. Oferta y demanda de biodiésel con B20 miles de toneladas al año.

La **figura 6** muestra la oferta de biodiesel, con el crecimiento económico alto supera a la del crecimiento económico medio, y en ambos casos se supera la demanda de biodiésel con la mezcla de B20.

5. CONCLUSIONES

- Tanto con B10 como con B20 la demanda de biodiésel pudo ser cubierta, y se tiene una oferta sobrante, la cual podría ser utilizada para la exportación.
- El modelo de Dinámica de Sistemas fue útil para aprender acerca del comportamiento del mercado del aceite de palma, tanto para consumo humano, como para la producción de biodiésel.
- Con la gran disponibilidad de tierras cultivables que tiene Colombia para la palma de aceite, se ve como una alternativa agroindustrial viable.
- Durante la etapa de validación se pudo apreciar que una variable muy sensible al modelo es el precio internacional del aceite de palma.

- Colombia cuenta con la suficiente disponibilidad de tierras para producir biocombustibles, sin ver afectada su seguridad alimentaria, lo cual es una gran ventaja.

6. TRABAJO FUTURO

Incorporar de la inversión para las plantas de refinación de biodiésel.

Incorporar nuevos mercados para el biodiésel, como lo son la exportación de biodiesel y la siembra para la atención de la demanda de zonas no interconectadas del país.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Interconexión Eléctrica S.A- ISA por su apoyo económico para la realización del proyecto Modelo regional de producción y transporte de biocombustibles en Colombia

8. REFERENCIAS

[1] CORLEY, R. H. V. "How much palm oil do we need?" *Environmental science & policy*, vol. 12, 2009, pp. 134-139 [citado 10 de Junio de 2010].

[2] Primer encuentro Nacional de Municipios Palmeros:
<http://www.fedepalma.org> [citado 20 de Mayo de 2010].

[3] Ministerio de minas y energía Decreto 2629 de 2007 [citado 11 mayo de 2010].

[4] FRANCO, C. J.; SÁNCHEZ, R. impacto en la demanda de energía eléctrica en Colombia debido a

la penetración de vehículos híbridos-eléctricos y eléctricos. Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Cartagena 2009, pp. 149-155 [citado 4 mayo de 2010]. [Citado 10 de agosto de 2010]

[5] Fedepalma, Balance económico del sector palmero colombiano en 2009:
http://www.fedepalma.org/document/2010/Bol_Eco_2009.pdf
[Citado 10 de agosto].

[6] SENGE, P. M. (1992). *La quinta disciplina*. Barcelona, España: Granica. [citado 20 de agosto de 2010].

[7] STERMAN, John D., 2000, *Misperception of feedback* [Citado el 20 agosto de 2010].

[8] Fondo de Estabilización de Precios para el Palmiste, *El aceite de palma y sus fracciones*, Ley 101 de 1993, Capítulo VI, Decreto 130 de 1998. [Citado el 25 agosto de 2010].

[9] INFANTE, A. Implicaciones de las políticas públicas sobre biocombustibles en la seguridad alimentaria de países seleccionados de América Latina. Colombia 13 agosto de 2000. [Citado 1 de septiembre].

[10] Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia, Resolución 18 2142 de 2007 [Citado el 1 septiembre del 2010].

[11] Fedebiocombustibles, plantas productoras de biodiésel en funcionamiento,
<http://www.fedebiocombustibles.com/v2/nota-web-id-271.htm> [Citado el 25 de octubre del 2010].

Puede incluirse un, tecnológica y docente. Cada

Dinámica de la penetración de tecnologías alternativas para vehículos automotores y su impacto en las concentraciones de carbono atmosférico

Alternative motor vehicles penetration and Its impact on atmospheric carbon concentrations

Carlos Jaime Franco Cardona, PhD y Andrés Ignacio Baena Arce, Ing.
Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín
cjfranco@unal.edu.co, aibaena@unal.edu.co

Resumen: el calentamiento global está aumentando paulatinamente. Dentro de los sectores económicos que más emiten gases de efecto invernadero se encuentra el sector transporte y, por lo tanto, se han estado planteando muchas soluciones en el campo. El presente trabajo analiza la penetración de vehículos alternativos y el impacto que esta penetración tendrá en la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera.

Palabras Clave: vehículos alternativos, cambio climático, racionalidad limitada, carbono atmosférico.

Abstract: global warming is slowly increasing. Transport sector is one of the most greenhouse gas emitting economic sectors, and many solutions have been proposed. The present work analyses the penetration of alternative vehicles and its impact on the amount of carbon dioxide in the atmosphere

Key words: Alternative vehicles, climate change, bounded rationality, atmospheric carbon.

1. INTRODUCCIÓN

En este momento, el planeta se está calentando a una tasa lenta, pero peligrosa. Las consecuencias del cambio climático pueden ser altamente comprometedoras e irreversibles.

Para este problema de calentamiento atmosférico se han planteado varias soluciones a lo largo de las últimas décadas, siendo el sector transporte uno de los focos principales de acción para reducir la

cantidad de gases de efecto invernadero, que son los causantes físicos del incremento en la temperatura del planeta.

La idea central de la solución planteada por muchos gobiernos alrededor del mundo es un cambio en las tecnologías automotrices que permita un menor nivel de emisiones de polución. En el presente documento se modelan cuatro tipos principales de vehículos alternativos, que según Romm [1] en su trabajo de 2006, son los más importantes para un futuro en el cambio tecnológico automotor: vehículos con motor de combustión interna, vehículos eléctricos, vehículos híbridos (eléctricos y combustión) y vehículos eléctricos impulsados por celdas de combustible.

2. CAMBIO CLIMÁTICO

3.

El gas de efecto invernadero más abundante, y que produce el mayor efecto invernadero, es el dióxido de carbono (CO₂). El efecto invernadero sobre la tierra es fundamentalmente diferente al efecto que se obtiene en un invernadero, dado que este último mantiene la temperatura mediante límites físicos como las paredes o el techo de lugar. El calentamiento global en la atmósfera es producido porque la luz solar no puede escapar de la tierra, debido a los gases que interactúan con la radiación infrarroja y que se encuentran en el aire [2].

Según Echarri [3] el calentamiento atmosférico es producido principalmente por el dióxido de carbono, que es el principal gas de efecto invernadero en la atmósfera. Este gas es producido en varios procesos

industriales y en la combustión de hidrocarburos usados como energéticos para proveer de movimiento a los vehículos automotores convencionales, entre otras aplicaciones.

En el protocolo de Kyoto [4] se plantea que los países pertenecientes al Anexo B de dicho documento, caracterizados por ser los países desarrollados que firmaron el protocolo, deben limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero a 95% de las emisiones registradas en el año 1990 en cada país.

La mayoría de vehículos dependen de la combustión de hidrocarburos para derivar la energía necesaria para su propulsión. La combustión es una reacción entre el carburante y el aire que libera calor y otros productos. El calor es convertido en energía mecánica por un motor y los productos son liberados a la atmósfera. Un hidrocarburo (HC) es un compuesto químico con moléculas hechas de átomos de hidrógeno y oxígeno. Idealmente, la combustión de un hidrocarburo sólo produce dióxido de carbono y agua, pero realmente, esta combustión no es ideal. Además de los dos productos principales, en los motores, los productos contienen una cantidad considerable de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados que son tóxicos para la salud humana [5].

Es necesario admitir que las tendencias globales actuales de transporte no son sostenibles y que el sistema, particularmente en Norteamérica, es altamente costoso e ineficiente y con altas probabilidades para empeorar, dado el creciente deseo de la economía del hidrógeno [6]. A pesar de que se ha escuchado mucha retórica sobre la independencia energética y la estabilización del clima, los hechos son que las ventas de vehículos, el consumo de petróleo y las emisiones de dióxido de carbono van a continuar aumentando globalmente [2]. Un cuarto de todo el petróleo gastado por los humanos en toda la historia ha sido consumido desde el 2000 hasta el 2010 [7].

El 85% estimado de la población mundial que no posee vehículo está esperando ansiosamente llegar al tan deseado sueño *móvil* americano. Una encuesta realizada en 2004 por A.C. Nielsen encontró que más del 60% de los residentes en cada uno de los siete países con más alto crecimiento, incluyendo India y China, aspiran tener un vehículo [7].

Los vehículos de combustión interna son los más abundantes en la actualidad. Como se ha visto, éstos generan gran parte de la contaminación y su combustible se basa en un recurso escaso: el petróleo.

Actualmente se están desarrollando vehículos con fuentes energéticas alternativas para reemplazar algunos de los vehículos de combustión interna por otros más limpios y generar cada vez menos emisiones, con el fin de detener el cambio climático. En el presente trabajo se analizan cuatro tecnologías principales, las cuales, según Romm [1], son las que tienen mayores posibilidades de ocupar el parque automotor del mundo en los próximos años.

4. ESTADO DEL ARTE

Dentro de los aportes relacionados con el tema se encuentra el trabajo de Doll y Wietschel [8] en el cual concluyen que los sistemas actuales de transporte juegan un papel fundamental en la sociedad, pero no son sostenibles en el largo plazo. Si las condiciones de mercado y tecnología son las adecuadas, la reducción de dióxido de carbono sería de un 60%, usando Vehículos Impulsados por Celdas de Combustible (FCVs).

Según [9], los vehículos híbridos son la solución del parque automotor en el futuro a pesar de su fracaso en la década de 1990. En su análisis mencionan tres elementos importantes e interdependientes uno del otro que definen la entrada de estos vehículos: la demanda, la oferta y el sector regulatorio. Para que los vehículos automotores entren exitosamente en un mercado específico, dicen, primero debe haber un nicho con una masa crítica de usuarios.

Hamelinck y Faaij [10] aseguran que “Dentro de los combustibles alternativos, el hidrógeno ofrece la mayor perspectiva para el futuro de la tecnología en automotores [...]. Esta tecnología requiere de avances en cuanto al almacenamiento del hidrógeno para poder ser competitiva”.

Hackney y de Neufville [11] analizaron algunas tecnologías alternativas para reemplazar la gasolina como combustible. En su trabajo concluyen que la gasolina reformulada, es decir mezclada con derivados de gas natural, es la mejor opción por su bajo costo y debería ser la alternativa principal para las regiones con alto nivel de polución. En su trabajo, dejan a los vehículos eléctricos como última opción, dado su alto costo al momento de realizar la investigación y dada la baja demanda que se presenta para este tipo de vehículos.

Whelan [12] planteó un modelo econométrico, calibrado con datos desde 2001 hasta el año de su trabajo para estimar el uso de vehículos en Gran Bretaña hasta el año 2031. En su artículo concluye que el número de vehículos en tal año será de 36.35

millones de vehículos, representando un crecimiento de un 42%.

Oliver et al. [13] plantean que China, con su rápido crecimiento, necesita de estándares para la reducción de emisiones de dióxido de carbono, pues siendo el emisor más grande de gases de efecto invernadero, está soportando la presión internacional para emitir con los estándares de un país desarrollado sin serlo. El trabajo de Oliver et al. [13] se concentra en los estándares al nivel de los compradores de carros más que al nivel de empresas productoras, pues argumenta que es el consumidor final quien decide qué auto adquirir y qué tan a punto mantenerlo para controlar las emisiones de gases y contaminantes.

El grupo de expertos en hidrógeno en EE. UU. predijo las diferentes etapas del desarrollo del hidrógeno en su nación. Hasta 2020: Investigación y pruebas. 2020 – 2030: Creación de infraestructura. Después de 2030: Desarrollo del mercado [14]. En el mismo año y usando datos reales, Granovskii, Dincer y Rosen [15], realizaron una comparación ambiental entre cuatro tipos de vehículos: convencional, híbrido, eléctrico e impulsado por celdas de combustible. El análisis muestra que los autos híbrido y eléctrico tienen ventaja sobre los demás tipos de vehículos.

Fong, Matsumoto y Lung [16] plantean un modelo basado en Dinámica de Sistemas para el modelado de las tendencias de emisiones de dióxido de carbono, basados en la planeación urbana en Malasia. En su modelo analizan varias opciones de políticas que pueden llevar a direccionar un mejoramiento de los niveles de emisiones generadas por los vehículos automotores.

Larios [17] plantea que “A pesar de existir varias alternativas y tecnologías de producción no es probable que todas las alternativas se comercialicen debido a diferentes factores, tales como la disponibilidad de la fuente, el costo de la producción o transformación para su uso, el almacenamiento, la distribución al usuario final, los efectos ambientales que genere, la eficiencia energética, entre otras.”

Romm [1] asegura que en el futuro cercano, los vehículos dominantes serán los vehículos híbridos. En su trabajo, enfatiza que serán los híbridos que pueden conectarse a la red eléctrica, pues pueden viajar de tres a cuatro veces más que los autos con celdas de combustible por cada kilovatio-hora. Además, los vehículos híbridos pueden reducir de un 30% a un 50% el consumo de combustible y, por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero. En su trabajo, Romm (2006), plantea que los

vehículos híbridos serán un paso intermedio entre los vehículos convencionales de combustión interna y los vehículos eléctricos que, según su trabajo, afirma que serán el auto del futuro lejano.

Finalmente, Figueroa [18] “estudia las barreras en la penetración de vehículos con fuentes alternativas de energía utilizando un modelo de Dinámica de Sistemas en el mercado colombiano. El modelo utilizado provee un ambiente de aprendizaje donde las interacciones entre factores y sus sensibilidades pueden ser analizadas y probadas sobre escenarios alternativos. La tesis se basa en datos colombianos sobre vehículos particulares partiendo de cinco fuentes convencionales y alternativas de energía: gasolina, diésel, gas natural vehicular, etanol y electricidad”.

Los anteriores trabajos muestran diversas aproximaciones al problema de la penetración de vehículos alternativos al mercado. Algunos como Fong et al. [16], Figueroa [18] y Larios [17] analizan el problema con la metodología de la Dinámica de Sistemas a un nivel local o regional. Otros como Romm [1], Doll y Wietschel [8], Granovskii et al. [15] y Hackney y de Neufville [11] analizan el problema desde una perspectiva un poco más amplia. Sin embargo, no se ha encontrado aún un trabajo en el cual se plantee este problema abordado de manera global, analizado como un sistema complejo y que además plantee el impacto ambiental que esta penetración pueda tener.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El replanteamiento de tecnologías alternativas para los vehículos automotores tendrá implicaciones socio-económicas tanto conocidas como desconocidas, que deben ser analizadas con anterioridad por parte de los gobiernos de cada país para evitar efectos colaterales indeseados como, por ejemplo, un incremento, en lugar de una disminución, de concentraciones de gases de efecto invernadero. Lo anterior suena contrario a la intuición, si se tiene en cuenta que se está intentando introducir tecnologías más limpias para el transporte. Sin embargo, se debe considerar el crecimiento vehicular en los países menos desarrollados, el cual podría crecer más de lo esperado actualmente [19].

Dentro de las consideraciones que se toman en cuenta dentro del análisis de la penetración de los diferentes tipos de vehículos se encuentra el crecimiento esperado del parque automotor de los países desarrollados y no desarrollados. Mientras que en los países desarrollados se espera que el crecimiento de

los vehículos sea a lo sumo de 50%, en algunos países desarrollados se espera que este crecimiento supere el 300% en los próximos 20 años [19]. Teniendo en cuenta que dentro de estos países se encuentran algunos de los países más poblados del mundo (China, India, Brasil...), es difícil asegurar a simple vista los cambios que se pueden presentar con respecto a la penetración de tecnologías alternativas para los vehículos automotores.

Dada esta influencia en el clima del sector transporte, el trabajo propuesto se concentra en analizar la dinámica de la penetración de diferentes tecnologías energéticas para el sector automotor a nivel global, estimando el impacto que ésta generará en las concentraciones de carbono en la atmósfera analizando todo el sistema como un sistema único

6. METODOLOGÍA

Dentro de las metodologías para abordar el problema propuesto, se ha elegido la Dinámica de Sistemas, dada la característica global del sistema que se analiza. La Dinámica de Sistemas [20] es una metodología para estudiar y administrar sistemas complejos que presentan retroalimentación, como los que se encuentran en sistemas sociales como los negocios. De hecho la Dinámica de Sistemas se ha usado para tratar prácticamente cualquier sistema retroalimentado.

Si se analiza el problema propuesto, se trata de un sistema que presenta las características antes mencionadas por la Sociedad de Dinámica de Sistemas [20]. Un problema que muestra ciclos de retroalimentación desde dos puntos de vista. Primero, el clima atmosférico es un sistema complejo que debe

ser analizado teniendo en cuenta un todo, pues tiene un sinnúmero de variables que determinan el estado del sistema y que se interrelacionan formando complejos ciclos de retroalimentación [21,22]. Por otro lado, el sistema que se analizará para estimar la manera en que se distribuirán las diversas tecnologías alternativas para los vehículos, posee características complejas como un número de variables y relaciones entre éstas variables muy alto [17]. Dado este gran número de variables y relaciones, es posible que se presenten diferentes ciclos de retroalimentación que, sin un tratamiento adecuado, como el que permite la Dinámica de Sistemas, se puede llegar a resultados erróneos.

Sin embargo, la información que tiene un usuario al escoger un producto es, en general, limitada y además, no realiza el trabajo de calcular su relación costo-beneficio a largo plazo, tomando así decisiones que pueden perjudicarlo a través del tiempo [23]. Las teorías neoclásicas generalmente hacen asunciones no evidentes y de gran peso acerca de los procesos de decisión de usuarios finales, incluyendo: información completa, racionalidad absoluta y falta de percepción del riesgo [24]. Según Dyner y Franco [24], el usuario final escoge determinado producto dependiendo de sus deseos y de sus oportunidades reales, las cuales están limitadas por el conocimiento que éste tenga de tales oportunidades.

La metodología que se empleará será la descrita por la Sociedad de Dinámica de Sistemas, con el fin de tener las conclusiones más correctas para el problema planteado.

6. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

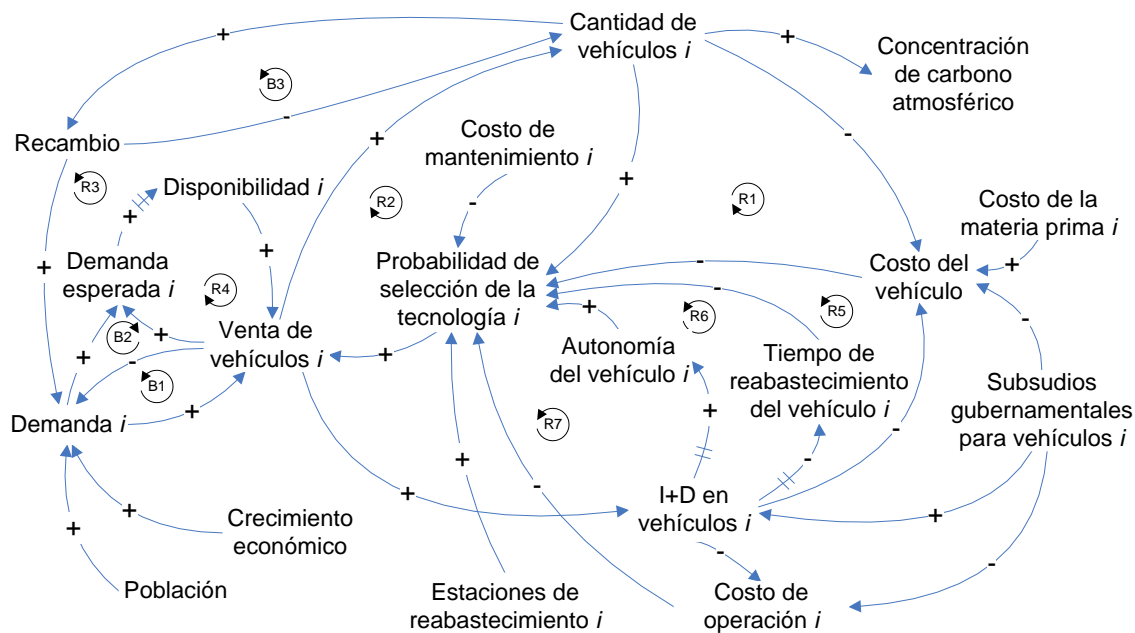


Figura 1. Hipótesis dinámica.

En la figura 1 se muestra la hipótesis dinámica planteada en este trabajo. Ésta consta de tres ciclos de balance y 7 ciclos de refuerzo que representan la dinámica del sistema.

El ciclo **R1**, ciclo del costo del vehículo, representa cómo aumenta la venta de vehículos cuando aumenta la probabilidad de selección de una tecnología. Este incremento en la venta, necesariamente aumentará la cantidad de vehículos de un tipo en las calles y, por consiguiente, disminuirá su costo. Un incremento en el costo del vehículo finalmente disminuirá la probabilidad de venta de la tecnología.

El ciclo **B1** es el primer ciclo de balance del modelo. Éste representa la satisfacción de la demanda que decide comprar determinado tipo de vehículo. Así, un incremento en la demanda del vehículo i , aumentará la venta de tal vehículo. Pero un incremento en las ventas, habrá satisfecho cierta parte de la demanda, por lo cual, esta última variable disminuirá.

El ciclo **B2** representa el momento histórico que están viviendo las tecnologías alternativas en el momento, pues la disponibilidad de éstas es limitada. A medida que se dan más ventas de vehículos la demanda disminuye. Cuando la demanda aumenta, la demanda esperada aumenta y por tanto, pero con un retardo, la

disponibilidad de vehículos aumenta. Este aumento de disponibilidad generará más ventas, dado que éstas también están influenciadas por la demanda en el ciclo **B1**.

El ciclo **B3**, el ciclo del recambio, representa la cantidad de vehículos que por accidentes o término de la vida útil deben ser cambiados y disminuyen la cantidad de vehículos en las calles.

El ciclo **R2**, representa la dependencia de la probabilidad de escogencia de la masa crítica de vehículos que existen. Este comportamiento se debe a que un usuario de una tecnología i , aumenta su probabilidad de escogencia de otra tecnología j , proporcionalmente al número de usuarios de esta tecnología j [26]. Igualmente la probabilidad de escogencia de una tecnología conllevará a un aumento en las ventas de determinado vehículo y, por consiguiente, a la cantidad de vehículos de una tecnología en las calles del mundo.

El ciclo **R3**, modela el caso cuando un vehículo ha cumplido su tiempo de vida útil debe ser reemplazado por otro nuevo generando un incremento en la demanda de vehículos. La variable 'Recambio' está directamente causada por la cantidad de vehículos que existen, dado que se aumenta la cantidad de

vehículos que son usados y la probabilidad de pérdidas por accidentes de tránsito.

El ciclo **R4** es el ciclo que define qué tantos autos estarán disponibles en un año dado. La disponibilidad de vehículos depende de la demanda esperada y, ésta a su vez, de la venta y la demanda de una tecnología. El retardo que se presenta entre las variables ‘Demanda esperada *i*’ y ‘Disponibilidad *i*’ responde al hecho de que no necesariamente la demanda esperada estará disponible el año en que se espera, dadas las restricciones tecnológicas y gubernamentales que existan.

El ciclo **R5**, representa la influencia directa que tiene la venta de una tecnología sobre la inversión en investigación y desarrollo en el campo. Un incremento en esta última variable influirá en una disminución del costo del vehículo. Un incremento en el costo producirá, con un retardo, una disminución en la probabilidad de selección, la cual tiene un efecto directo sobre las ventas.

Los ciclos **R6** y **R7** representan la influencia de la inversión en investigación en las características propias de la tecnología, en este caso el tiempo de reabastecimiento energético y la autonomía. A pesar de tener una influencia negativa en una variable y positiva en otra, finalmente los ciclos son de refuerzo por causa de la influencia negativa y positiva respectiva de cada una de las variables sobre la probabilidad de elección de una tecnología. Dado que no es inmediato que una inversión en Investigación y Desarrollo se haga efectiva en términos de características técnicas, existe un retardo entre la Inversión en I+D y estas dos cualidades de la tecnología.

Los vehículos alternativos requieren inevitablemente de incentivos gubernamentales para poder entrar al mercado [1]. Éstos influirán de manera directa, y negativa, sobre los costos del vehículo y de operación del mismo. También serán parte de la inversión en investigación y desarrollo de determinada tecnología. Finalmente, la probabilidad de elección de una tecnología depende de algunas variables que, aunque no tengan realimentación del modelo, son imprescindibles para el análisis realizado. La demanda potencial, que es función de la población y la tasa de crecimiento económico, determina cuántos posibles compradores existen para todas las tecnologías en conjunto. El número de puntos de reabastecimiento energético será crucial para que un usuario escoja cierta tecnología, pues es un parámetro que la persona considera como parte de la seguridad de la tecnología.

A continuación se muestran algunos resultados de las simulaciones realizadas.

7. RESULTADOS

En la figura 2 se muestra la probabilidad a lo largo de la simulación.

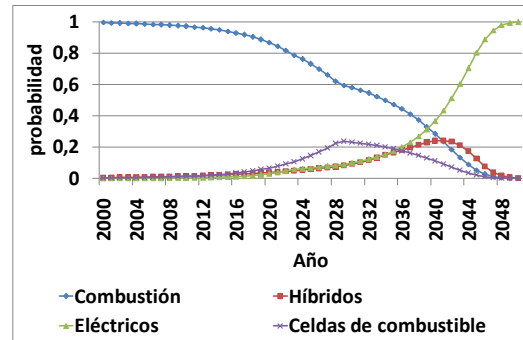


Figura 2. Probabilidad de selección de las tecnologías alternativas.

La cantidad de vehículos mostrados en la figura 3, es creciente en todo momento, permaneciendo los vehículos convencionales como dominantes.

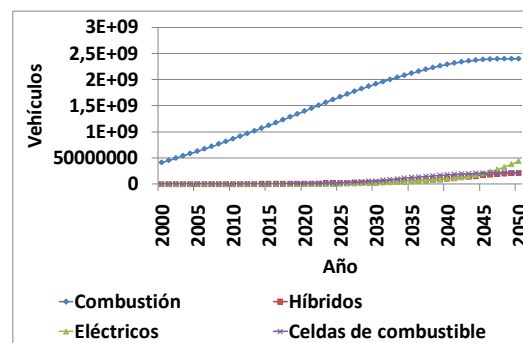


Figura 3. Cantidad de vehículos alternativos.

Igualmente, el carbono es creciente a lo largo de toda la simulación, debido a la cantidad de vehículos convencionales de combustión interna que permanecen en el sistema.

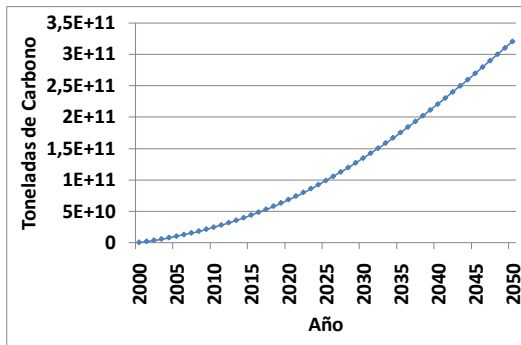


Figura 4. Carbono total emitido.

Un resultado importante es la comparación entre los vehículos convencionales y todos los alternativos. En la figura 5 se puede notar que, al llegar alrededor de la mitad de la simulación, la cantidad de autos alternativos iguala la cantidad de vehículos de combustión interna convencionales, superándolos hacia el final, en el año 2050.

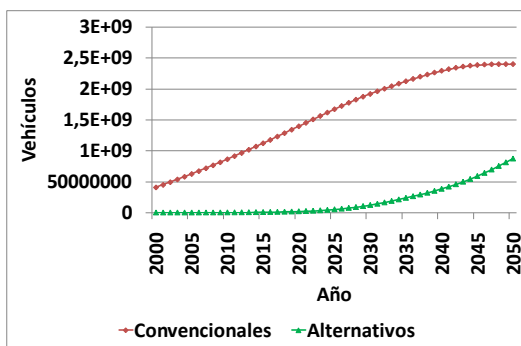


Figura 5. Vehículos Convencionales vs. Alternativos.

A continuación se presentan las conclusiones más importantes del trabajo.

8. CONCLUSIONES

Según Pacala y Socolow [25], no basta con una sola mejora en las tecnologías energéticas para reducir exitosamente la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera. Una de tales mejoras mencionadas en su trabajo es el aumento de la eficiencia energética en los vehículos automotores. El presente trabajo muestra resultados coherentes con su teoría, pues, sólo se está analizando el impacto en la concentración de dióxido de carbono atmosférico en el caso de tener vehículos alternativos en el mercado, con las demás variables que influyen en el problema de calentamiento global constantes. Este resultado muestra que no sólo basta con mejorar la tecnología automotriz para controlar el calentamiento global que se experimenta actualmente, sino que además, se

deben mejorar el resto de sistemas que generan gases de efecto invernadero y, por consiguiente, un cambio climático perjudicial para la humanidad.

Los autos con tecnologías energéticas alternativas son una excelente opción para limpiar la atmósfera terrestre de dióxido de carbono y algunos otros gases que producen los vehículos de combustión interna. Sin embargo, éstos últimos tienen como ventaja ante los compradores el hecho de que ocupan más del 95% de la población vehicular en el mundo. Entonces, aunque la probabilidad de comprar los demás vehículos sea muy alta, sus cantidades tendrán un retardo de largo plazo para representar un porcentaje significativo del parque automotor mundial.

La concentración de carbono atmosférico, a pesar de que su reducción puede parecer prometedora con el cambio en las tecnologías de transporte, no basta con un solo cambio, pues la producción de CO₂ tiene muchas otras fuentes. Sin embargo, tampoco es sensato descuidar este sector, pues sus emisiones, según la EIA (2008), siguen en crecimiento. La solución propuesta para tal problema es, primero que todo, una concientización de la humanidad del problema, de las consecuencias que éste puede traer y de las posibles soluciones que cada uno puede aportar para lograr un objetivo común a la humanidad: detener el cambio climático.

Para lograr este objetivo desde el parque automotor, los gobiernos podrían plantear políticas de reducción de uso de vehículos de combustión interna así como políticas de fabricación y comercialización de vehículos alternativos, para acelerar el cambio tecnológico en este campo de la economía. El objetivo principal yace en disminuir la cantidad de vehículos de combustión interna y aumentar la cantidad de vehículos ‘limpios’ para poder llevar la tasa de emisión de dióxido de carbono por debajo de la tasa natural de consumo.

9. REFERENCIAS

- [1] ROMM, Joseph - 2006 - The car and fuel of the future. Energy Policy. Center for Energy and Climate Solutions, 2900 South Quincy Street, Suite 410, Arlington, VA 22206, USA.
- [2] HANSEN, James - 2003 - Can we defuse the global warming time bomb? NASA Goddard Institute for Space Studies. En: http://naturescience.com/ns/articles/01-16/ns_jeh.html

- [3] ECHARRI PRIM, Luis. Ciencias de la tierra y el medio ambiente. Universidad de Navarra. En: <http://www.tecnun.es/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/Principal.html>. Libro electrónico.
- [4] UNFCCC - 1998 - The Kyoto Protocol. En: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- [5] EHSANI, Mehrdad; GAO, Yimin; EMADI, Ali - 2010 - Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design. Segunda Edición. CRC Press.
- [6] CEFO, Nevres - 2009 - Two Cents per Mile: Will President Obama Make it Happen With the Stroke of a Pen? Nevlin LLC.
- [7] SPERLING, Daniel y GORDON, Deborah - 2009 - Two Billion Cars: Driving toward sustainability. Oxford University Press.
- [8] DOLL, Claus y WIETSCHHEL, Martin - 2008 - Externalities of the transport sector and the role of hydrogen in a sustainable transport vision. Energy Policy. doi:10.1016/j.enpol.2008.06.027.
- [9] DIJK, Marc y YARIME, Masaru - 2010 - The emergence of hybrid-electric cars. Innovation path creation through co-evolution of supply and demand. Technological Forecasting & Social Change. An International Journal. doi:10.1016/j.techfore.2010.05.001.
- [10] HAMELINCK, Carlo y FAAIJ, André - 2006 - Outlook for advanced biofuels. Energy Policy. Aziëlaan 774, 3526 SZ Utrecht, the Netherlands. Utrecht University, Copernicus Institute, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands.
- [11] HACKNEY, Jeremy y de NEUFVILLE, Richard - 2001 - Life cycle model of alternative fuel vehicles: emissions, energy and cost trade-offs. Transportation Research Part A. No. 35. Elsevier Science Ltd.
- [12] WHELAN, Gerard - 2007 - Modelling car ownership in Great Britain. Transportation Research Part A. No. 41. doi:10.1016/j tra.2006.09.013.
- [13] OLIVER et al. - 2009 - China's fuel economy standards for passenger vehicles: Rationale, policy process, and impacts. Energy Policy. No. 37. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.026
- [14] VAN MIERLO, J.; MAGGETTO, G. y LATAIRE, Ph. - 2006 - Which energy source for road transport in the future. A comparison of battery, hybrid and fuel cell vehicles. Energy & Conversion Management. No. 47. pp. 2748–2760.
- [15] GRANOVSKII, Mikhail; DINCER, Ibrahim y ROSEN, Marc - 2006 - Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. Journal of Power Sources. No. 159. pp. 1186–1193. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.11.086
- [16] FONG, Matsumoto y Lun - 2009 - Application of System Dynamics model as decision making tool in urban planning process toward stabilizing carbon dioxide emissions from cities. Building and Environment. N. 44. doi:10.1016/j.buildenv.2008.07.010
- [17] LARIOS, María - 2007 - Alternativas energéticas limpias para utilización en transporte automotor. Tesis de Especialización. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- [18] FIGUERO, Diego - 2007 - Utilización de la Dinámica de Sistemas para el modelamiento de las barreras en la penetración de vehículos con fuentes alternativas de energía en el mercado colombiano. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- [19] Energy Information Administration - 2008 - International Energy Outlook. En: [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2008\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2008).pdf)
- [20] System Dynamics Society - 2009 - What is System Dynamics? En: http://www.systemdynamics.org/what_is_system_dynamics.html
- [21] BAENA, Andrés y BECERRA, David - 2007 - Dinámica del calentamiento atmosférico producido por gases de efecto invernadero. V Encuentro latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Buenos Aires, Argentina.
- [22] STERMAN, JOHN Y BOOTH SWEENEY, Linda - 2007 - Understanding public complacency about climate change. Adults' mental models of climate change violate conservation of matter. Climatic Change. No. 80. pp. 213-238. doi:10.1007/s10584-006-9107-5
- [23] TURRENTINE, Thomas y KURANI, Kenneth - 2007 - Car buyers and fuel economy?. Energy Policy. No. 35. doi:10.1016/j.enpol.2006.03.005
- [24] DYNER, Isaac y FRANCO, Carlos - 2004 - Consumers' Bounded Rationality: The Case of

Competitive Energy Markets. Systems Research and Behavioral Science. Doi: 10.1002/sres.644

[25] PACALA, S. y SOCOLOW, R. - 2004 - Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. Science Magazine. Vol. 305. pp. 968-972.

[26] ROGERS, Everett - 2003 - Diffusion of Innovations. Quinta Edición. Free Press.

Tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂: Penetración y decisión de adopción, un análisis con Dinámica de Sistemas.

Carbon capture and storage technologies: Penetration and adoption decision, a systems dynamics analysis.

Camilo A. Patiño R., Ing, Yris Olaya M., Ph.D.
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
capatinore@unal.edu.co, yolayam@unal.edu.co

Resumen: en los procesos de penetración y adopción de tecnologías, en específico tecnologías energéticas, los criterios de evaluación e implementación son subjetivos y dependen en gran medida de las políticas establecidas por organismos especializados en el tema energético. Para el estudio de las tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CCS, de su sigla en inglés) se cuenta con información relacionada con el estado actual de variables que influyen en el comportamiento del clima y los cambios que éste experimenta, una de ellas es el CO₂ atmosférico representado en concentraciones de toneladas por año. Así mismo, se ha revisado en la literatura algunos de los modelos de procesos de adopción de tecnologías para realizar un contraste en el comportamiento que presenta el proceso de adopción y sus barreras. Mediante el enfoque de Dinámica de Sistemas se simularán las interacciones que experimentan las variables cualitativas y cuantitativas del modelo tales como percepción de cambio climático y metas de reducción y cómo estas influyen en el proceso de adopción, que de otra manera sería difícil de estudiar.

Palabras Clave: adopción, cambio climático, captura y almacenamiento de CO₂, concentraciones, emisiones, percepción, tecnologías.

Abstract: combustion of fossil fuels is one of the main sources of the green house gases that cause global warming. There is agreement on the need to cut back greenhouse emissions, including CO₂, and on that developing and adopting new technology is crucial to achieve this goal. Unlike many new

technologies that are still on the development stage, carbon capture and storage is currently available and it is competitive under different conditions. We study the process of penetration and adoption of CCS because this technology can help to decrease emissions while other technologies are developed. CSS penetration, however, is uncertain, it faces many barriers and it depends on complex interactions between weather, industries and population, among other variables. We use system dynamics to model the relationships between CCS technology adoptions, perceptions of global warming and emissions goals. System dynamics modeling captures the dynamics of technology penetration, particularly delays. Preliminary results show that the model is able to reproduce expected behavior thus helping policy evaluation.

Key words: adoption, climate change, CO₂ capture and storage, concentrations, emissions, perception, technologies.

1. INTRODUCCIÓN

Las concentraciones actuales de CO₂ en la atmósfera son lo suficientemente grandes como para provocar aumentos en la temperatura superficial promedio del planeta [1, 2, 3]. Esto tiene efectos sobre el comportamiento del clima mundial y la calidad de vida en general. El cambio climático y, por ende, el calentamiento global, es una de las variables que más motiva la investigación en nuevas tecnologías, como las tecnologías de captura de gases de efecto invernadero y, en el mismo sentido, motiva el fomento de fuentes alternativas para la generación de poder y energía. Las emisiones actuales de dióxido de

carbono en algunas partes del mundo están llegando a puntos muy altos con relación a sus cantidades históricas [1, 2, 3], llegando a cifras del orden de 6.500 millones de toneladas anuales emitidas por China [4]. De allí surge la necesidad de controlar las emisiones o mitigar las fuentes que las generan.

Sin embargo, no todos los países están en la capacidad de adquirir tecnologías eficientes y limpias y por ello deben recurrir a fuentes económicas para la generación de energía como el carbón, el cual no sólo es muy abundante [5] sino que es un gran contaminante ya que es el combustible que más gramos de CO₂ emite por KWh de energía producido [6]. Como el consumo de energía aumenta continuamente, las emisiones de CO₂ pasaron de 18.000 millones de toneladas por año para inicios de los años 1980 a casi el doble para inicios de los años 2000 (EIA), más adelante se hablará sobre las emisiones del gas.

2. ACTUALIDAD DE LA CCS

Actualmente se están desarrollando tecnologías a la misma vez que se plantean mecanismos de regulación, mitigación y control sobre los gases invernadero [7]. Algunas de esas herramientas son las tecnologías CCS [8, 9], las cuales, en el mediano y largo plazo, pueden contribuir con el control y disminución de las emisiones del gas hacia la atmósfera. Hasta abril de 2010 se contaba con un total de 328 proyectos CCS alrededor del mundo, entre planeados, en ejecución, cancelados y terminados de gran y mediana escala. Además, los países de la OECD anunciaron la destinación de presupuesto para tales proyectos, llegando al orden de entre 26,6 y 36,1 billones de dólares [10], con lo que se espera aumentar el número de proyectos.

Por ejemplo, en la Unión Europea se tiene presupuestado entre 4 y 6 billones de dólares para proyectos CCS, esperando tener en operación unos 20 proyectos [10]. En particular España cuenta con la implementación de una de las primeras plantas de escala industrial para la captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CIUDEN, Proyecto la Compostilla), incorporando la limpieza de gases, convirtiéndose en un referente sobre la realidad del cambio climático y la importancia de las tecnologías CCS como una herramienta de lucha contra éste. Además, se están estableciendo políticas de reducción de emisiones y se están revisando los

parámetros establecidos en los mercados de emisiones [11], con lo que se busca generar barreras que controlen las fuentes de emisión de gases generadores del efecto invernadero. Dentro de dichas políticas se encuentra la última ratificación del protocolo de Kioto (Copenhague, 2009) el cual solo sirvió como documento de entendimiento sobre la situación que se presenta [12].

2.1. ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS CCS: ESTUDIO DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Esta investigación busca mejorar la comprensión del proceso de adopción de tecnologías de captura y almacenamiento del dióxido de carbono. Para esto, se identifican y comparan las distintas tecnologías actuales, su madurez, así como las barreras que se tienen para su adopción, además se modelan las tendencias globales para las emisiones de CO₂. El análisis que se propuso es de largo plazo y se basa en la recopilación y uso de información del comportamiento de los gases, las proyecciones de consumo de energía y su producción equivalente en gramos de CO₂, emitidos para las economías más desarrolladas.

3. ESCENARIO ACTUAL: CLIMA, CONSUMO DE ENERGÍA, EMISIONES DE CO₂ Y SUS PROYECCIONES.

Las actuales condiciones climáticas y el cambiante estado de las mismas hacen pensar sobre las posibles causas y sus futuros efectos [3]. En particular, los gases de efecto invernadero como el CH₄ y el CO₂, causan cambios en la temperatura promedio de la tierra, lo que acarrea cambios en los patrones de comportamiento del clima mundial [13]. Los registros de los cambios en la temperatura superficial promedio oscilan entre 0,18°C y 0,58°C [14] y las proyecciones calculadas no ofrecen un buen panorama.

El crecimiento de los sectores económicos a lo largo del planeta, específicamente en el aumento de la demanda energética, tiene un gran impacto en el clima global [15, 16]. Las proyecciones calculadas reflejan crecimientos entre el 1,02% y el 1,08% cada año en el consumo de energía desde todas las fuentes, incluyendo fuentes renovables [15].

Tabla 1. Actualidad y Pronósticos.

	Temperatura superficial promedio [°C] (IPCC)	Consumo de energía [Cuatrillón BTU] (EIA)	Emisiones de CO₂ [Millones de toneladas] (EIA)	Concentraciones de CO₂ [ppm] (NOOA)
1980	0.08	238.2819	18488.3	338.68
1990	0.18	347.6898	21677.33	354.16
2000	0.39	396.5836	23876.59	369.4
2009	0.56	483.5967 (2007) [1]	30377.3 (2008)	387.35
2030	<i>Sin datos</i>	686.5	125000 (aprox -MIT)	460 (aprox - MIT) [2]

Fuente: [1, 2, 3]

En ese sentido, las energías renovables presentan un comportamiento creciente cada año, por ejemplo, entre 2005 y 2006 se evidenció un crecimiento del 80% en la generación de energía eólica en el mundo [17].

En contraste, aunque la tasa de emisiones parece crecer poco, su efecto es grande ya que estas son mucho mayores que las emisiones evitadas por las energías renovables.

Para el CO₂, se tiene que las mayores emisiones provienen de los sectores industriales y transporte [15] y dentro de ellos se tiene que los mayores contaminantes son los combustibles fósiles y minerales como el carbón [18].

En la **Tabla 1** se presentan los pronósticos de emisión de CO₂ realizados por el IPCC, EIA, NOAA y MIT, basados en datos históricos y comportamientos de las variables en estudio. De la **Tabla 1** se nota que los aumentos que se evidencian son cada vez más significativos en las mismas escalas de tiempo (cada 10 años), lo que podría indicar que la tendencia en el aumento permanecerá según algunos estudios hechos por el MIT [2]. La **Tabla 1** muestra que las emisiones aumentaron en un 20% entre 1980 y 1990, un 10% entre 1990 y 2000 y un 27% entre 2000 y 2009, el descenso en la década de los noventa pudo ser debido a la crisis de los años 90, en los que se experimentaron caídas en los ritmos de producción en la mayor parte de Europa y Estados Unidos, sumado a recesiones económicas [19]. Se aprecia entonces la existencia de factores externos y que estos tienen un efecto directo sobre las emisiones a pesar que haya cambios tecnológicos en la generación de energía.

Para las emisiones de CO₂, entre las pretensiones de la ratificación del protocolo de Kyoto, se tenía un objetivo claro en la reducción de éstas, dicho objetivo estaba establecido entre los años 2008 y 2012 y era

llegar a unos niveles inferiores en no menos del 5% a las emisiones del año 1990 [12 8].

La ratificación del protocolo no fue posible; el documento sólo sirvió para tener un entendimiento de la situación actual y los esfuerzos por lograr avances en la firma del tratado prácticamente fueron en vano [12]. La dificultad para alcanzar un acuerdo global de emisiones genera interrogantes sobre la viabilidad de ese tipo de mecanismos. Para que un acuerdo como el de Kioto logre reducir las emisiones significativamente, se necesita cambiar el ritmo del crecimiento de los sectores económicos de todo el mundo y es probable que las economías se nieguen, por ello se necesitan alternativas, como otras fuentes de energía para generación, la producción de combustibles más limpios y de mejor calidad, generación de nuevos combustibles y la captura y almacenamiento de dióxido de carbono, entre otros.

4. TECNOLOGÍAS DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO. PROYECTOS Y PROYECCIONES

Las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ son una de las alternativas planteadas para combatir el cambio climático y el control de las crecientes emisiones de CO₂ [20]. Estas tecnologías permiten atrapar de la fuente el gas generado por la quema de combustibles, para luego ser almacenado a presión en contenedores temporales los cuales serán dispuestos para su transporte hacia zonas de almacenamiento permanente acondicionada para tal fin o transporte directo de la fuente a través de sistemas de tuberías ubicados a un lado de las líneas de petróleo (generalmente para el caso de refinerías de petróleo) [21, 22].

Actualmente existen tres mecanismos que permiten lograr el objetivo de captura del CO₂: El primero de

ellos es llamado Pre – combustión, el cual consta de la eliminación de la molécula de carbono existente en el gas de la síntesis proveniente del carbón o gas natural, previo a su combustión en una turbina de gas de ciclo combinado. El segundo mecanismo, conocido como Post – Combustión, o Carbonatación, consta de la captura de los gases efluentes de las fuentes en un ciclo combinado de separación de CO₂ con CaO y formación de CO₃Ca que se descompone en calor para obtener CaO y CO₂, dicho mecanismo aún sigue en etapas investigativas y experimentales. Por último pero el más importante e investigado en el mundo, es el mecanismo de Oxi – Combustión, el cual consta de la quema de carbón o gas natural con oxígeno (sin aire), produciendo por lo tanto sólo CO₂ y agua [21, 22].

La investigación de dichas tecnologías avanza rápidamente y con paso firme y su estado de madurez se está alcanzando de igual manera [10]. En el mundo se cuenta con 328 proyectos de CCS (entre planeados, cancelados, atrasados, integrados y completados) [10], sus escalas y creciente número son un referente sobre la importancia que está tomando en la actualidad climática y energética. Las **Tablas 2, 3 y 4** resumen la inversión que se tiene planeada para proyectos CCS, algunos de los proyectos del mundo (planeados y en operación) más importantes que se tienen y el estado de madurez de las tecnologías.

Tabla 2. Inversión en I + D para proyectos de CCS en el mundo (Millones de USD).

Estados Unidos	\$594.0
Australia	\$123.5
Francia	\$38.8
Japón	\$36.8
Comisión Europea	\$31.9
Canadá	\$19.0
Corea	\$12.2
Italia	\$11.7

Fuente: [23]

Desde la perspectiva económica y tecnológica la CCS es viable, además que permite una amplia implementación sin alzas significativas en el costo

del consumo de energía, según ENDESA, España, y NETL, Estados Unidos.

El proceso de adopción toma importancia por el potencial de largo plazo que presentan las tecnologías CCS. La captura de CO₂ toma importancia para el mercado de bonos de carbono, ya que se experimentarían reducciones en los precios por tonelada emitida hasta en \$10 USD, según estudios del Banco Mundial, además se aumentaría el capital de inversión para energías limpias y eficientes [24, 25]. Por ello la captura de carbono es una de las alternativas más viables para el control del cambio climático, el fomento e inversión en tecnologías limpias y el crecimiento de los mercados sin restricciones por emisiones.

Dentro de la literatura hay modelos que simulan la penetración de tecnología en general. En particular hay modelos que involucran a los interesados en el proceso de difusión tecnológica en organizaciones públicas [26], así como el comportamiento esperado representado por la curva logística de aprendizaje, el cual es discutido por su interpretación de resultados y en lugar se propone la medida de diferencia esperada de Gini como un proceso de estimación no paramétrica [27]. También hay modelos de decisión e inversión basados en incertidumbre [28] con los que se pueden comparar comportamientos en la toma de decisiones. Con estos, se espera realizar un contraste de resultados del comportamiento que presenta la penetración de tecnologías CCS. En el mismo sentido, el modelo C-Roads [29] simula el ciclo natural del carbono, con dicho modelo se espera obtener resultados que sirvan como punto de contraste con los datos arrojados por el modelo propuesto.

El uso de Dinámica de Sistemas en el estudio del comportamiento de penetración de las CCS permite simular los ciclos y las interacciones que presentan las variables del modelo [30], como percepción de calentamiento y emisiones de CO₂, entre otras, ya que por medio de esta herramienta se pueden estudiar variables blandas, y su efecto en las decisiones y también tener en cuenta retardos que pueden ser considerados como los de información y los de construcción de infraestructura.

Tabla 3. *Proyectos CCS en el mundo.*

NÚMERO DE PROYECTOS	Captura	Almacenamiento	Integrado (C-A)	Transporte
Norteamérica	56	80	33	1
Sudamérica	1	1	0	0
Europa	22	12	50	0
África y Medio Este	2	1	1	1
Asia y Oceanía	16	12	27	0
TOTAL	97	106	111	2

Fuente: [25]

Tabla 4. *Madurez general de las tecnologías CCS.*

MADUREZ	Captura	Transporte	Almacenamiento
Altamente aplicado	Separación industrial Pre - combustión	Tuberías	Aumento en recuperación de petróleo
Técnicamente factible	Pos - combustión	Barcos	Pozos de petróleo y/o gas agotados Formaciones salinas en profundidad
Fase de demostración	Oxi - combustión		Aumento en recuperación de metano en lechos de carbón

Fuente: [31]

5. MÉTODO DESARROLLADO PARA EL ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Como se discutió antes, el análisis del problema de la adopción de tecnologías se enfoca desde la Dinámica de Sistemas. En la **Figura 1** se presenta el diagrama causal resumido. Como se observa en la figura, la concentración de CO₂ en la atmósfera depende de las emisiones (CO₂ antropogénico) y va a aumentar en la medida que las emisiones lo hagan. También se tiene que la naturaleza secuestra parte de estas emisiones de forma ‘natural’: los bosques capturan el CO₂ necesario para realizar sus procesos naturales, pero a su vez también emiten CO₂, mientras que el océano secuestra aproximadamente el 40% de las concentraciones anuales de CO₂ [32].

La instalación de tecnologías de captura depende del nivel de CO₂, pues a mayor nivel, mayor es la necesidad de instalar capacidad de captura. Sin embargo, esta instalación ocurre con un retraso ocasionado por los tiempos normales de construcción de capacidad y por los retrasos para adquirir la información acerca de la concentración de CO₂ en la atmósfera y su impacto, así como los retrasos ocasionados por la información referente a la

actualización de tratados y leyes ambientales. Una vez se instala la tecnología, se puede capturar el carbono, con lo que se reduce la concentración atmosférica.

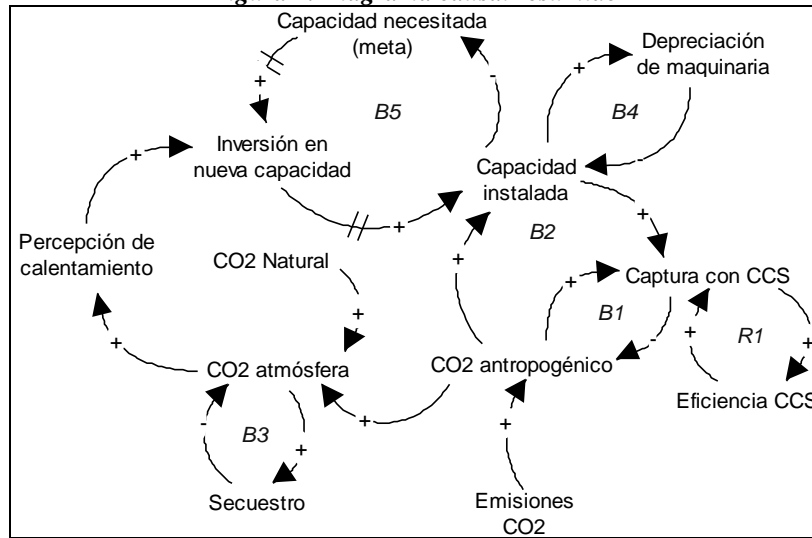
6. MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo que se plantea toma como referencia los cálculos realizados por EIA, IPCC, NOAA, MIT e IEA para las emisiones y sus proyecciones para un periodo de 30 años. Con ellos se construye la variable ‘Emisiones CO₂’, la cual alimenta la variable ‘CO₂ antropogénico’ que, en conjunto con la variable de ‘CO₂ natural’, alimentan la variable ‘CO₂ atmósfera’. La modelación de emisiones está por fuera del alcance de este trabajo, existen modelos como C-Roads [29] que podrían acoplarse con éste en etapas siguientes, entonces la simulación se ha realizado con la información mencionada anteriormente. En la **Figura 1** se presenta el diagrama causal resumido. En este diagrama el avance en la adopción de las tecnologías de captura se da por la capacidad instalada (toneladas de CO₂ capturadas / año). La capacidad instalada aumenta porque se construye nueva capacidad y la construcción depende de decisiones de inversión que a su vez son motivadas por la percepción del calentamiento global y por una

meta de captura. Tanto la meta de captura como la percepción del calentamiento se relacionan de forma

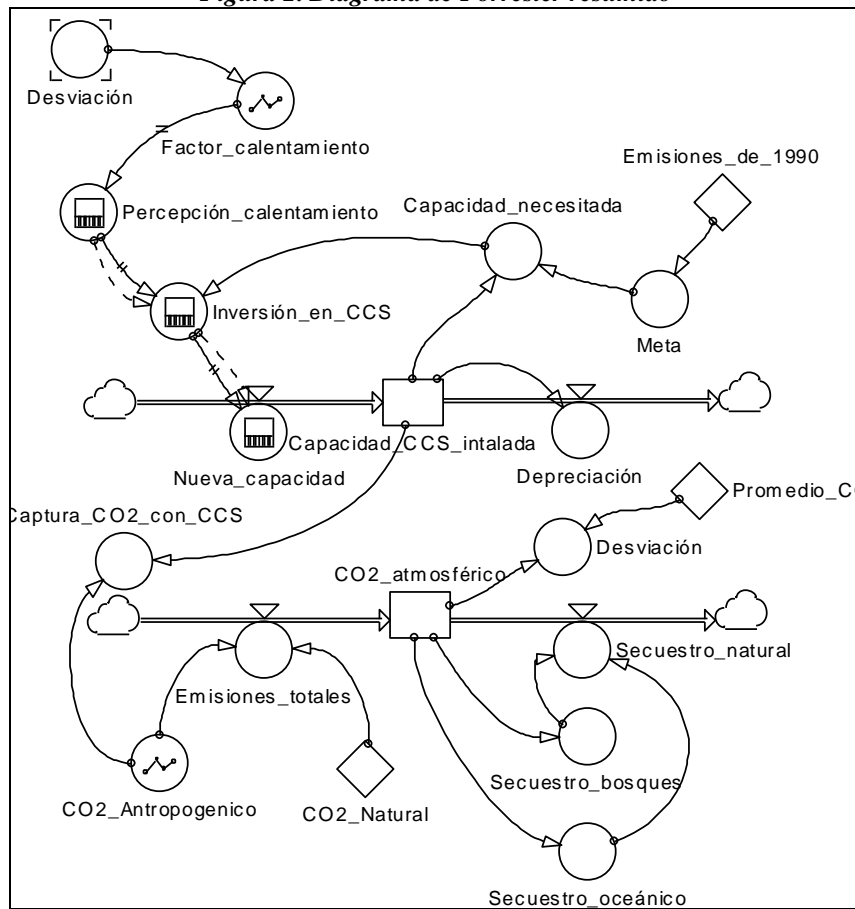
positiva con el nivel actual de carbono en la atmósfera.

Figura 1. Diagrama causal resumido



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Diagrama de Forrester resumido



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 2** se presenta el diagrama de Forrester resumido.

La **Figura 2** muestra las relaciones del diagrama causal de la **Figura 1** en términos de los flujos y niveles del sistema. El nivel de CO₂ atmosférico es alimentado por la variable de emisiones totales, la cual es la suma de las cantidades de las variables CO₂ natural y CO₂ antropogénico, la primera posee datos de emisiones naturales promedio encontrados en la literatura y la segunda, una serie histórica.

El nivel de CO₂ aumenta con las emisiones totales. Para la salida de este nivel se tiene el secuestro natural de CO₂, el cual es realizado por los bosques y el océano, capturando en conjunto un 40% del gas presente en la atmósfera [32].

Cuando el valor del CO₂ en la atmósfera es mayor que un promedio histórico de referencia, hay una desviación que puede aumentar el calentamiento global (factor de calentamiento). Si la desviación persiste, aumenta la percepción del calentamiento. En este proceso hay retrasos de información que explican la dificultad para percibir el calentamiento paulatino de la tierra, sus causas y sus consecuencias.

Cuando aumenta la percepción de calentamiento, aumenta la inversión en tecnologías CCS, porque hay más interés en controlar las emisiones. Sin embargo, la inversión en tecnologías CCS no es inmediata, por eso presenta un retraso con la variable nueva capacidad, tal retraso es debido a políticas de inversión, estudios de factibilidad, etc., que hacen que la construcción de nueva capacidad tome tiempo.

Con la inversión en tecnologías se construye nueva capacidad y aumenta el nivel de capacidad instalada que se tiene inicialmente y este nivel es disminuido por una depreciación normal de maquinaria.

Además de la percepción del calentamiento, las políticas ambientales son el otro factor que determina qué capacidad de CSC se instala. Las metas de reducción obedecen a políticas ambientales como Kioto, en las cuales se fijan valores y plazos para las futuras reducciones.

La capacidad necesitada depende del nivel de capacidad instalada y de las metas de emisión, de acuerdo con esta capacidad necesitada, se ajusta la cantidad de tecnologías CCS que son necesarias para cumplir dichas metas. En la siguiente sección se muestran algunos de los resultados del modelo descrito.

7. RESULTADOS

La mayor parte (40%, [32]) de la disminución de la concentración de CO₂ es natural, pero como no es suficiente para compensar el crecimiento de las emisiones antropogénicas, se necesitan acciones adicionales.

La adopción de tecnologías es lenta y tiende a estabilizarse en un nivel bajo una vez se alcanza la meta de reducción de emisiones.

Como se ve en la **Figura 3**, aproximadamente en 40 años se llegará a un valor casi asintótico de 1.200 unidades de medida para la capacidad instalada, teniendo en cuenta que se ha iniciado la simulación en el año 1980 y con un valor de 0 unidades de CCS. El comportamiento que muestra la **Figura 3** puede ser comparado con el comportamiento descrito por la curva de aprendizaje, en la que se tiene que para inicios de una nueva tecnología se presenta un ritmo de crecimiento lento, el cual, con el uso de ésta y el paso del tiempo, se acelera con una tendencia asintótica.

Por otra parte, en la **Figura 4**, a partir de las metas de reducción, se tiene que la captura de carbono con tecnologías CCS contribuiría con la reducción de alrededor del 10% de las emisiones proyectadas, con una tendencia aproximadamente constante (línea 1: emisiones sin captura, línea 2: emisiones con captura). De lo anterior, la inversión en tecnologías de CCS ayudará a estabilizar las concentraciones del gas en la atmósfera y a alcanzar los niveles propuestos por el protocolo de Kioto.

8. CONCLUSIONES

El comportamiento para el crecimiento de las tecnologías CCS puede ser explicado mediante el arquetipo de 'Crecimiento y Subinversión' propuesto por Senge [33], el cual dice que una meta puede ser desplazada hacia arriba o hacia abajo en la medida que una organización o individuo invierta en la explotación de un recurso, si la inversión es rápida y acelerada, la explotación impide la reducción del potencial de la tecnología que se quiere explotar, pero si la inversión es lenta, se corre el riesgo de malos desempeños y la desaparición del recurso.

Hay subinversión porque los compromisos de Kioto son modestos. El comportamiento del modelo es el esperado porque sólo representa el impacto de una tecnología y de una política y lo hace de manera simplificada.

Se debe tener en mente que las emisiones seguirán creciendo conforme los mercados lo hagan, de igual manera lo deben hacer las tecnologías CCS para controlar el impacto que dichas emisiones puedan generar. La CCS en conjunto con otras tecnologías, energías renovables por ejemplo, pueden ayudar en la lucha contra el cambio climático, todo depende de las medidas que adopten los gobiernos y del impulso que se les dé a éstas.

La creciente inversión y los compromisos que los países han hecho en el campo del cambio climático y en particular con las CCS son importantes y experimentan crecimientos significativos. Estudios alrededor del mundo [10] demuestran que el cambio climático es una realidad y que las emisiones de gases tienen un efecto directo sobre éste. Por otro lado, de acuerdo con los resultados proyectados por el IPCC, se espera que las tecnologías CCS contribuyan con la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 15% y 55% del esfuerzo mundial hasta el año 2100 [34].

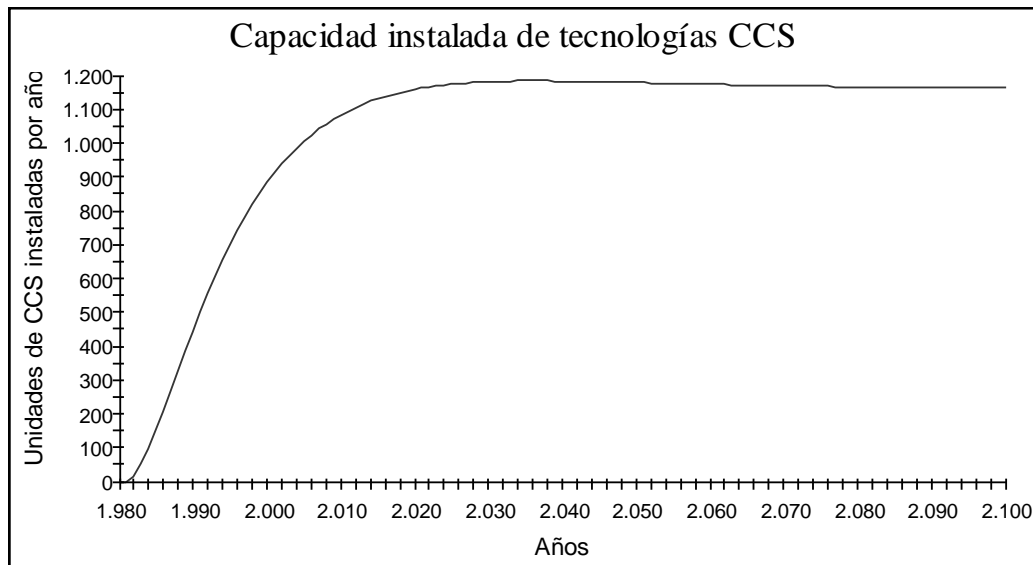
El modelo del estudio presentado sigue en construcción, se piensa incluir variables como el efecto del aprendizaje de la industria cuando se

acumula capacidad instalada de tecnologías CCS y experiencia, con lo que se llega a la evolución y disminución en los costos de las tecnologías, también se planea la inclusión de variables que representen las barreras de entradas para la tecnología, generando así más retrasos para el comportamiento del modelo, entre otras. Sin embargo, los resultados del modelo usado sirven de referente para la comparación de futuros escenarios de simulación con el modelo ampliado.

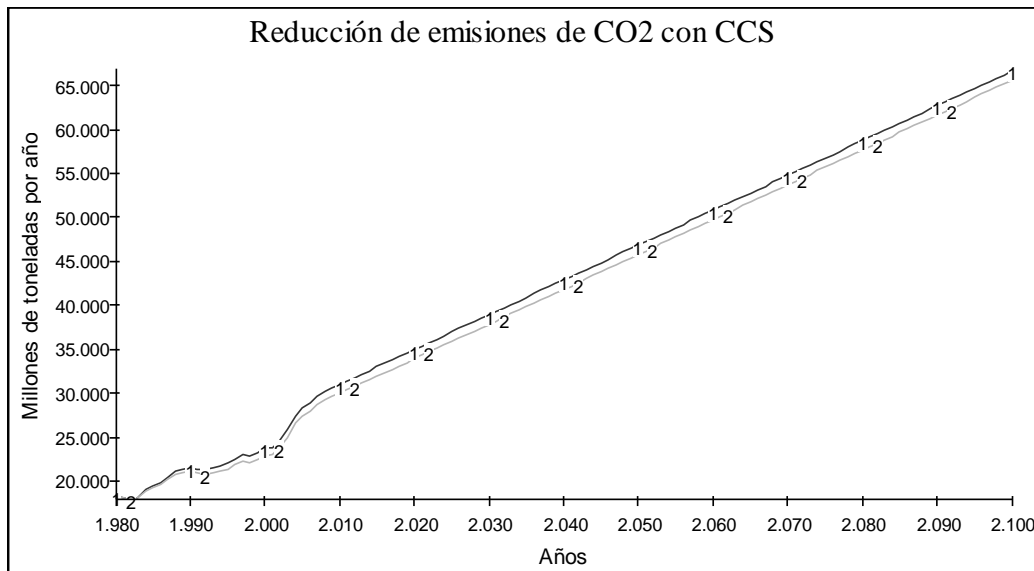
9. TRABAJOS FUTUROS

La investigación de la penetración de tecnologías CCS continúa con el estudio del problema y el mejoramiento del sistema planteado, por ejemplo, modelar la captura en función de la cobertura de biomasa. Además, se espera incluir variables como la evolución de los costos de las tecnologías de acuerdo con la adopción y también se espera modelar de manera más detallada el efecto de la percepción del calentamiento en los tratados, las tasas de captura y la influencia sobre las decisiones de adopción de las tecnologías.

Figura 3. Resultados 1 de simulación.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3. Resultados 2 de simulación



Fuente: Elaboración propia

10. REFERENCIAS

[1] BERNSTEIN, L. Et al. Climate change 2007: Synthesis report. IPCC Fourth Assessment Report (AR4).

[2] HOLIAN, G. Uncertainty in Atmospheric CO2 Concentrations from a Parametric Uncertainty Analysis of a Global Ocean Carbon Cycle Model. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, pp 18.

[3] IPCC. Fourth assessment report (AR4). Climate change 2007, Synthesis report. Impacts of future climate changes, pp 48, 98. 2008.

[4] EIA. International Energy Statistics. Indicators. CO2 Emissions from the Consumption of Coal 1980 – 2008. Disponible: <http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=90&pid=1&aid=8&cid=&syid=1980&eyid=2008&unit=MMTCD> [Consultada el 30 de agosto de 2010].

[5] CATERPILLAR GLOBAL MINING. Carbón: Solución para un mundo que depende de la energía, pp 2. 2007.

[6] MARTIN, L. Annual energy outlook 2009: An update annual energy outlook 2009 reference case reflecting provisions of the American recovery and reinvestment act and recent changes in the economy outlook. Energy Information Administration (EIA).

[7] IPCC. Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático. 1996.

[8] KERR, T. Carbon dioxide and storage. International Energy Agency, Energy technology Essentials. Disponible: <http://www.iea.org/textbase/subjectqueries/cdcs.asp> [Consultada el 20 de septiembre de 2010].

[9] RUBIN, E. Carbon dioxide capture and storage: Technical summary. IPCC, Special report 2006.

[10] GLOBAL CCS INSTITUTE. The Status of CCS Projects. Interim report 2010, pp 4. 2010.

[11] EUROPEAN COMMISSION. Community research. CO2 capture and storage projects, pp 3, 13-15, 31-36, 41, 46-48. 2007.

[12] Grupos de trabajo de la Conferencia Mundial de los Pueblos sobre Cambio Climático y los Derechos de la Madre Tierra. Documento de referencia: Grupo de trabajo n°10 – Protocolo de Kioto y compromisos de reducción de emisiones, pp 1. 2010.

[13] IPCC. Fourth assessment report (AR4). Climate change 2007, Synthesis report. Impacts of future climate changes, pp 39. 2008.

[14] IPCC. IPCC Fourth Assessment Report (AR4). Climate Change 2007 The Physical Science Basis. Chapter 1. Historical Overview of Climate Change Science, pp 98.

- [15] EIA. U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2010. Appendix F: Reference Case Projections by End-Use Sector and Country Grouping Data Tables (2006 – 2030), pp 235. 2010.
- [16] EIA. International Energy Consumption, Economic Growth and energy intensity Analysis to 2030. Chapter 1. World energy demand and Economic Outlook, pp 7. 2009.
- [17] ARVIZY, D E. National Renewable Energy Laboratory. The Growing Significance of Renewable Energy 2007.
- [18] Universidad Politécnica de Valencia. España. 2006.
- [19] CRISIS ECONÓMICA (III). Los años 90. Treinta años de crisis abierta al capitalismo. Disponible:
<http://es.internationalism.org/book/export/html/1162>
[Consultado el 15 de octubre de 2010].
- [20] Red Europea del Dióxido de Carbono, CO2 NET. 2005.
- [21] LINARES, J.; MORATILLA, B. *Et al.* Captura y almacenamiento de CO2: Seminario permanente de tecnologías energéticas. pp 31 - 61. Universidad Pontificia Comillas & ENDESA. Madrid, España. 2007.
- [22] IEA. Technology roadmap. Carbon capture and storage, pp 10. 2008.
- [23] IEA. Global gaps in clean energy research, development and demonstration, pp 15. 2009.
- [24] BRANDON, C. BM. Estrategia del Banco Mundial en el Mercado del Carbono. 2005.
- [25] THE WORLD BANK. State and trends of the carbon market. 2010.
- [26] BROWN, M M. Technology diffusion and the "knowledge barrier": The dilemma of stakeholder participation. Public Performance & Management Review, Vol. 26, No. 4 (Jun., 2003), pp. 345-359.
- [27] TRAJTENBERG, M.; YITZHAKI, S. The Diffusion of Innovations: A Methodological Reappraisal. Journal of Business & Economic Statistics, Vol. 7, No. 1 (Jan., 1989), pp. 35-47.
- [28] CAREY, J. M.; ZILBERMAN, D. A model of investment under uncertainty: Modern irrigation technology and emerging markets in water. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 84, No. 1 (Feb., 2002), pp. 171-183.
- [29] STERMAN, J.; FIDDAMAN, T., *et al.* C-Roads simulator reference guide, pp 66 – 78. 2009.
- [30] DAVIS, J.; BINGHAM, C. Developing theory through simulation. Academy of Management Review, Vol 32, No 32 (2007). pp 486.
- [31] IEA. Carbon capture and storage in the CDM, pp 11. 2007.
- [32] PNUMA, FAO y COI - UNESCO. Carbono azul. El papel de los océanos saludables en la fijación de carbono. Prefacio. 2009, pp 1.
- [33] SENGE, Peter. La quinta disciplina. Cómo impulsar el aprendizaje en la organización inteligente, Arquetipo de crecimiento – Subinversión. Segunda edición. Editorial Granica, Grupo Norma, pp 476.
- [34] IEA. Carbon capture and storage in the CDM, pp 10. 2007.

Análisis de la producción de biocombustibles en Colombia

Ana M. Flórez B., Carlos J. Franco C., Isaac Dyner
Universidad Nacional de Colombia
Ceiba Complejidad
amflores@unalmed.edu.co, cjfranco@unal.edu.co, idyner@yahoo.com

Resumen: actualmente los biocombustibles representan una buena alternativa energética para hacer frente a los problemas de demanda y conservación del medio ambiente. En el caso de Colombia, la producción de biocombustibles puede traerle beneficios tales como la sostenibilidad en el suministro energético, la reducción de emisiones de CO₂ en el transporte y la generación de empleo. Colombia cuenta con un gran potencial en esta materia, no obstante se tiene una porción de demanda insatisfecha que ha llevado a realizar gran cantidad de cambios en el programa de biocombustibles en Colombia.

Para analizar el comportamiento del sistema y la respuesta del mismo ante diferentes políticas, se construye un modelo de Dinámica de Sistemas. A partir de éste se analizan las políticas actuales de producción de biocombustibles, los cambios posibles para alcanzar la producción deseada, según diferentes porcentajes de mezcla, y finalmente se evalúa si el programa de biocombustibles en Colombia puede llegar a ser sostenible en ausencia de incentivos o bajo niveles más bajos de los mismos.

Palabras Clave: biocombustibles, Dinámica de Sistemas, políticas.

Abstract: nowadays, biofuels seem to be a good energy alternative in response to demand and environmental conservation issues. In the case of Colombia, biofuels' production may give some energy independence level from other countries, and also it could bring social benefits such as employment generation. That is why the government has made important efforts to promote biofuels through incentives for the producers and consumers. However, despite these government's efforts there still remains a shortage in Colombia, which has been reflected in changes made by the government over the biofuels program.

A system dynamics model was constructed in order to learn about the system behavior and for understanding the response mechanisms of the biofuels offer under different policies from the production side. From the simulation of different scenarios and policies, we can analyze the current government policies such as incentives for refining, facilities and planting crops for biofuels, analyze which policy changes are needed to attain sufficient supply growth to fulfill internal demand, given different goals, and evaluate if at any point the biofuels program is sustainable without or with lower levels of government incentives.

Keywords: biofuels, System Dynamics, policies.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global y la insuficiencia a largo plazo de las reservas de petróleo para cubrir la creciente demanda energética han despertado un gran interés por desarrollar nuevas alternativas de energía que sean más limpias, eficientes y renovables, y que finalmente permitan hacer frente a los problemas de la demanda y del medio ambiente (1; 2; 3). Entre estas alternativas se encuentran los biocombustibles, que parecen ser una buena opción y para los cuales distintos gobiernos a nivel mundial han desarrollado políticas que permitan incrementar su producción (4; 5; 6).

Colombia en particular es un país que posee las características geográficas y climáticas necesarias para la producción de biocombustibles: vastas extensiones de tierra disponibles para cultivar materias primas, mano de obra a precios razonables y las condiciones agroclimáticas adecuadas para el desarrollo de una amplia variedad de cultivos utilizados como materias primas, hacen que Colombia se convierta en uno de los países con gran potencial para la producción de biocombustibles (7;

8; 9). Además, se debe considerar que dicha producción podría traerle beneficios económicos y sociales, como una mayor independencia energética de otros países y la generación de empleo (10; 11).

Es por esto que se ha venido desarrollando un programa de biocombustibles en Colombia en el que el gobierno está incentivando las partes de la cadena de suministro, con el fin de incrementar la producción y abastecer la demanda, además de motivar la investigación acerca de la estructura y el comportamiento de la cadena de manera que se puedan encontrar los problemas que hay en ella y analizar los efectos de las políticas actuales.

PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA

La producción de biocombustibles en Colombia está representada principalmente por el Etanol y el Biodiésel a partir de caña de azúcar y aceite de palma africana respectivamente, que son cultivos de un excelente rendimiento y calidad, y en los cuales el país tiene una gran experiencia; aunque existen alternativas interesantes que empiezan a considerarse, como lo son la yuca, la remolacha y la caña panelera (11; 12)

Como se observa en la **Tabla 3**, la capacidad de producción actual de Etanol es de unos 1.075.000 l/día, de los cuales 1.050.000 l/día se producen en el valle geográfico del río Cauca a partir de caña de azúcar, y los 25.000 l/día restantes se producen en Puerto López y Meta a partir de yuca (13).

Tabla 3. Producción de Etanol en Colombia

Planta de Refinación	Ubicación	Capacidad l/día	Año de Entrada
Incauca	Miranda, Cauca	300.000	2005
Providencia	Palmira, Valle	250.000	2005
Manuelita	Palmira, Valle	250.000	2005
Mayagüez	Candelaria, Valle	150.000	2005
Risaralda	La Virginia, Risaralda	100.000	2005
GPC	Puerto López, Meta	25.000	2009

En el caso del Biodiésel la producción actual es de cerca de 1.700.000 l/día, los cuales se producen en los departamentos del Magdalena, Cesar, Cundinamarca y Meta. En la **Tabla 4** se muestran las

plantas de refinación actual, su capacidad y la ubicación (14).

Tabla 4. Producción de Biodiésel en Colombia

Planta de Refinación	Ubicación	Capacidad lt/día	Año de Entrada
Oleoflores	Codazzi, Cesar	168.719	2008
Odin Energy	Santa Marta, Magdalena	121.477	2008
Biocombustibles Sostenibles del Caribe	Santa Marta, Magdalena	337.437	2009
Bio D	Facatativá, Cundinamarca	337.437	2009
Ecodiésel de Colombia S.A.	Barrancabermeja, Santander	337.437	2010
Aceites Manuelita S.A.	San Carlos de Guaroa, Meta	337.437	2010
Clean Energy	Santa Marta, Magdalena	116.000	2010

2.1 INCENTIVOS A LA PRODUCCION DE BIOCOMBUSTIBLES

Con el fin de asegurar una producción de biocombustibles suficiente como para abastecer la demanda interna en Colombia, se han venido creando ciertas políticas que incentiven a los agentes de la cadena de suministro a invertir en nueva capacidad, tanto de cultivos como de refinación, y de esta manera poder llegar a cumplir las metas del gobierno en cuanto al uso de energías alternativas como los biocombustibles.

A partir del 2001 con la Ley 693 (15) el gobierno decide desarrollar un programa de biocombustibles en el que se dictaran normas acerca del uso de biocombustibles en el país, y se incentivaran los cultivos relacionados con su producción y la inversión en plantas de refinación, con el fin de incrementar la oferta de etanol y de biodiésel, y lograr al menos abastecer la demanda interna.

Algunos de los incentivos más representativos que ha dado el gobierno a los productores y consumidores de biocombustibles son:

Al cultivo de materias primas:

- Exclusión del IVA a la caña de azúcar (16).

- Exención de la Renta a la palma de aceite (17).

A la refinación:

- Exención del impuesto a las ventas al biodiésel (17) y al etanol (18).
- Exención del impuesto global al ACPM al biodiésel que se destine a la mezcla con ACPM (17).
- Exención del pago del impuesto global y de la sobretasa al porcentaje de alcohol carburante que se mezcle con la gasolina motor (16)
- Renta de 15% (vs. 33%) a proyectos cuya inversión sea superior a 75.000 SMMLV o generen 500 empleos (19).
- Control de los precios de venta del etanol y el biodiésel (20; 21; 22; 23; 24).
- Plazo para el acondicionamiento de motores hasta el 2012, a partir de esta fecha los motores deberán ser flex-fuel E85 (25) y B20 (26)
- Garantía en el suministro a precio fijado para el etanol: Mezclas del 8% de etanol en la gasolina en el 2010 (27).
- Garantía en el suministro a precio fijado para el biodiésel: Mezclas del 8% de biodiésel en el 2010 (28).

Pero a pesar de los incentivos que se han dado para que el programa de biocombustibles pueda cumplirse y la demanda impuesta pueda satisfacerse, la producción no ha sido suficiente para cumplir con las metas propuestas por el gobierno, lo cual hace necesario evaluar las políticas actuales y encontrar sus posibles fallas

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas relacionados con el abastecimiento de la demanda impuesta se ven reflejados en los cambios que ha tenido que realizar el gobierno en cuanto al programa de mezclas de biocombustibles con los combustibles fósiles. En algunos casos, los cambios se han realizado en las fechas en que las diferentes regiones deben entrar a formar parte del programa de biocombustibles y en otras ocasiones los cambios se hacen en los porcentajes de mezcla antes establecidos.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que si en un futuro se desea llegar a niveles más altos de utilización de biocombustibles, es necesario que las políticas que se implementen en cuanto a la producción de biocombustibles sean eficientes, efectivas y permitan el crecimiento de la oferta. Además se debe considerar que entre las políticas que tiene el gobierno, en cuanto al programa de

biocombustibles, se encuentra acondicionar los motores de manera que para el 2012 los vehículos que ingresan al país deben tener la capacidad de utilizar combustibles para su funcionamiento con el 85% de etanol o el 20% de biodiésel en una mezcla con gasolina y diésel respectivamente, y por lo tanto es necesario que la oferta disponible sea suficiente para atender una demanda de estos niveles de mezcla.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, la producción de biocombustibles se encuentra localizada en unas pocas regiones del país, por lo tanto para poder suplir la demanda nacional es necesario que se transporten biocombustibles desde las regiones en las que se presente exceso de producción del biocombustible, y debe considerarse que para que puedan existir estos flujos es necesario contar con una infraestructura de transporte de biocombustibles que en el caso de Colombia todavía podría ser un limitante para el abastecimiento (29).

Finalmente, es necesario considerar que el cultivo de materias primas, y las regiones donde éstas presentan un mejor rendimiento, son determinantes en la localización de la producción de biocombustibles. Actualmente las refinerías de etanol se encuentran localizadas en su gran mayoría en el valle geográfico del río Cauca, lugar donde se ha encontrado el mejor rendimiento de la caña de azúcar, además de tener allí los ingenios azucareros del país de los cuales se puede sacar provecho para la producción de Etanol. Pero es importante tener en cuenta que otras materias primas y otros lugares para su cultivo están siendo analizados, y por lo tanto se debe evaluar qué tan rentable resulta para los agricultores y para los refinadores la producción de biocombustibles a partir de otras materias y en otras regiones. Para el caso del Etanol, por ejemplo, actualmente hay en funcionamiento una planta de producción de Etanol en Puerto López, Meta, a partir de yuca, materia prima con la cual se obtienen rendimientos más bajos que con la caña de azúcar, pero que parece prometedora debido a que es un cultivo poco exigente en cuanto a las condiciones climáticas y del suelo, lo que puede verse reflejado en costos y por tanto en la rentabilidad de los productores. Adicionalmente, en el caso de producción industrial de la yuca, existe menos disputa con respecto a su uso agroalimentario (30).

Según lo anterior, es necesario encontrar las razones por las cuales las políticas actuales del gobierno no están siendo eficientes para incrementar la producción de biocombustibles, de manera que permita atender la demanda interna, y para lograr

una mejor distribución de la producción de los mismos en las diversas regiones del país, de manera que se pueda encontrar un mejor balance territorial entre la oferta y demanda nacional.

Por otra parte, es importante analizar los cambios que pueden presentarse en el sector al momento de considerar materias primas alternativas, en este caso yuca, para la producción de biocombustibles y la localización de cultivos y plantas de refinación en regiones del país diferentes a las que actualmente se concentra la producción.

MODELO

Para el análisis del problema descrito en la sección anterior se construyó un modelo de Dinámica de Sistemas que permitiera el análisis de la cadena de suministro de biocombustibles, teniendo en cuenta el cultivo de las materias primas y la refinación de los biocombustibles.

En las *Figura y 2* se observa la dinámica del cultivo y la refinación respectivamente. La producción de biocombustibles está limitada tanto por la disponibilidad de materias primas (capacidad cultivos) como por la capacidad de refinación instalada. Para que estas capacidades crezcan es necesario que haya una inversión que es incentivada por el gobierno según la demanda insatisfecha. Estos son los ciclos de balance B1 y B3. Pero para la asignación de los incentivos es necesario también tener en cuenta la diferencia que hay entre las dos capacidades (de cultivo y refinación), de manera que el gobierno incentive alguno de los eslabones de la cadena si hay demanda insatisfecha, pero además si hay un margen entre las dos capacidades, incentivando más al eslabón que esté por debajo para lograr un balance. Esto se ve representado en los ciclos de balance B2 y B4 y los de refuerzo R1 y R2.

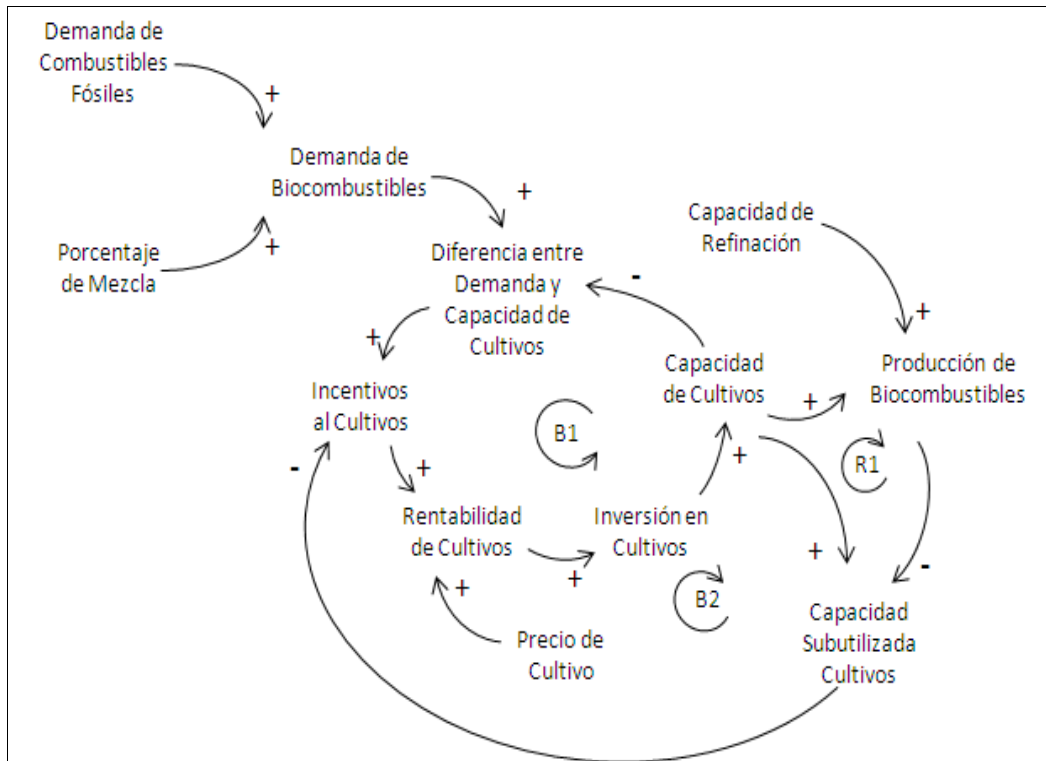


Figura 1. Diagrama Causal. Cultivo de materias Primas

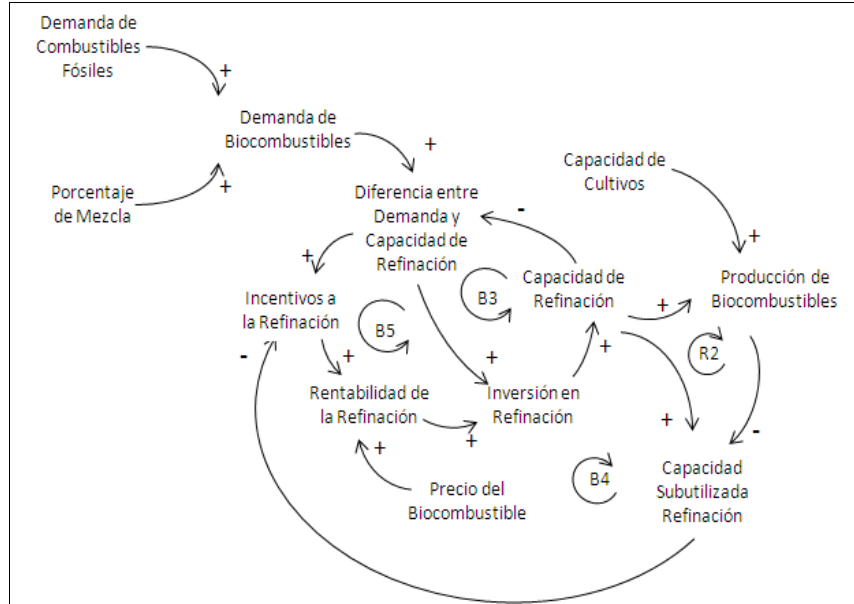


Figura 2. Diagrama Causal. Refinación

En el caso de la dinámica de la refinación hay que considerar que la inversión se ve motivada además de la rentabilidad, directamente por diferencia entre la oferta y demanda, ya que el inversionista se percata de un mercado potencial del cual podría sacar provecho, de esta forma se obtiene el ciclo de balance B3.

Esta dinámica se da en cada una de las regiones del país que hemos seleccionado, tomando en cuenta los mayores centros de producción y consumo de biocombustibles. Estas regiones son:

- Región 1. Valle del Cauca: Producción de etanol y caña de azúcar.
- Región 2. Bogotá y Llanos Orientales: Producción de biodiésel y palma de aceite.
- Región 3. Santanderes: Producción de biodiésel y palma de aceite.
- Región 4. Costa: Producción de biodiésel y palma de aceite.
- Región 5. Antioquia: Centro de consumo
- Región 6. Bogotá y Llanos Orientales: Producción de etanol y yuca.
- Región 7. Costa: Producción de etanol y yuca.

De esta manera en cada una de las regiones se analiza la capacidad de cultivo y de refinación, y por lo tanto la producción de biocombustibles. A partir de dichas producciones se generan flujos entre las diferentes regiones que presentan un exceso, y aquellas que presentan un déficit en la producción, según los costos de transporte.

RESULTADOS

Con base en los incentivos y políticas actuales del gobierno colombiano se creó un escenario base (escenario 1), a partir del cual se evalúa la tendencia de la producción de biocombustibles en las condiciones actuales del mercado. De acuerdo con lo que se observa en la figura 3, aunque la producción de biocombustibles no es suficiente para cumplir con la demanda de etanol impuesta, (E8) tiene una tendencia a crecer, y de continuar con el mismo porcentaje de mezcla, la demanda se podrá satisfacer dentro del horizonte de simulación. Aun así, es importante mencionar que nuevamente se está incumpliendo con las metas propuestas por el gobierno.

Por otro lado, se evaluó un escenario en el que la demanda impuesta sigue siendo la misma, pero se asume que no se dan incentivos a la producción de biocombustibles (escenario 2). Al igual que en el escenario base, en un principio no hay suficiente producción para abastecer el mercado interno, pero se evidencia un crecimiento que lleva a la satisfacción de la demanda. Así, aunque en presencia de los incentivos dados por el gobierno la producción llega a ser suficiente un poco más rápido que en ausencia de los mismos, la diferencia entre ambas producciones no es significativa, además de que en los dos casos se sigue presentando el problema del incumplimiento de las metas propuestas. Esto sugiere que los incentivos pueden no estar dando la señal adecuada a los inversionistas, y en el caso del etanol

la inversión se está dando casi de la misma manera con o sin incentivos.

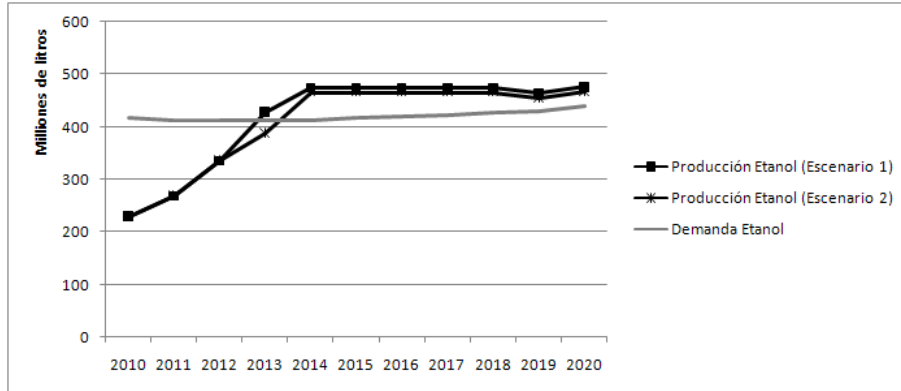


Figura 3. Producción y demanda de etanol. Escenario 1 y 2

Pero, aunque la producción de etanol puede alcanzar a suplir la demanda si se continúa con el mismo porcentaje de mezcla, si el porcentaje se incrementa al 20% (E20), como lo había planificado el Estado, la inversión en producción de etanol solo es suficiente para satisfacer la demanda al final del horizonte de simulación, esto sin importar si se dan (escenario 4) o

no (escenario 3) los incentivos actuales (figura 4). Así, si el gobierno pretende incrementar el porcentaje de mezcla actual, debe replantear las políticas e incentivos de manera que se pueda obtener una inversión lo suficientemente grande como para alcanzar a cumplir las metas propuestas.

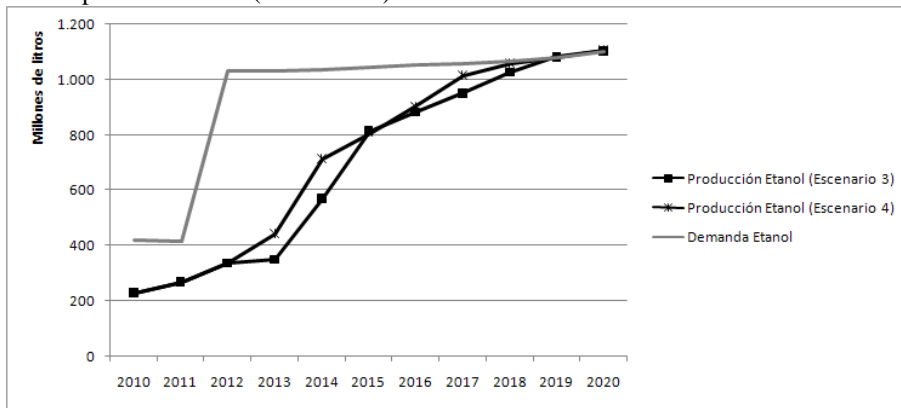


Figura 477. Producción y demanda de etanol. Escenario 3 y 4

La producción de etanol se da principalmente en el valle geográfico del río Cauca a partir de caña de azúcar (región 1), pero como se mencionó anteriormente, se ha iniciado la producción a partir de yuca en otras regiones como los Llanos, ya que ésta parece ser una materia prima prometedora en cuanto a la producción de etanol.

En las condiciones de mezcla actual, la producción de etanol en el Valle puede llegar a ser costosa debido a

que las tierras están siendo altamente demandadas, incrementando su precio y por lo tanto el costo de la producción de etanol. Esto puede llevar a que la producción a partir de caña de azúcar sea desplazada hacia otras regiones, y aun más hacia otras materias primas como la yuca, que puede representar menos costos (figura 5).

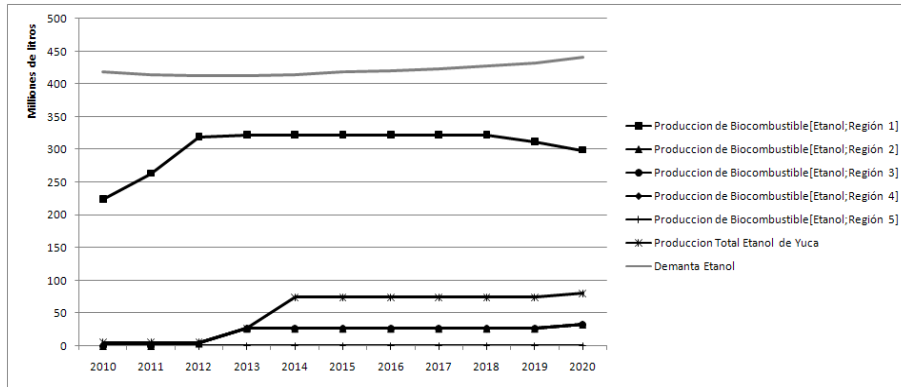


Figura 578. Producción regional de etanol vs. Demanda actual

Si las condiciones de mezcla cambiaran y pasaran a ser de un 20% de etanol, aunque la producción de etanol a partir de caña continuaría aumentando, la producción a partir de yuca se incrementaría de

manera más acelerada para suplir la demanda creciente, ya que resultaría más rentable el etanol a partir de yuca que a partir de caña por la situación de tierras disponible planteada anteriormente (figura 6).

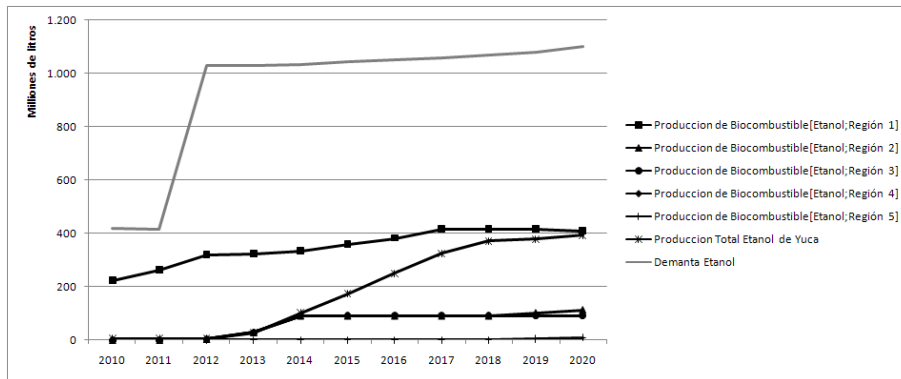


Figura 6. Producción regional de etanol vs. Demanda E20

Además de la situación de las tierras disponibles en el valle geográfico del río Cauca para el cultivo de caña de azúcar, se debe tener en cuenta que la caña de azúcar utilizada para la producción de etanol es también utilizada como alimento, tanto de consumo interno como de exportación. Debido a la preocupación por la competencia que se puede generar entre la producción de energía y el sector alimenticio, en el caso de Colombia, el gobierno ha decidido que primero debe abastecerse la demanda interna de azúcar, y luego los productores deciden el destino de los excedentes. Estos excedentes son repartidos entre la producción de etanol y las

exportaciones de azúcar según la rentabilidad que cada una de las opciones represente para el productor. Así, si el precio internacional del azúcar crece, será más rentable para el productor utilizar los excedentes en exportación y la producción de etanol crecerá pero a una menor tasa (figura 7), y entonces, aun continuando con el porcentaje de mezcla actual, la demanda permanecerá insatisfecha durante más tiempo. Por otro lado, la producción de etanol a partir de yuca se vería incentivada, tomando en cuenta que a partir de caña la producción, aunque es creciente, no sería suficiente (figura 8).

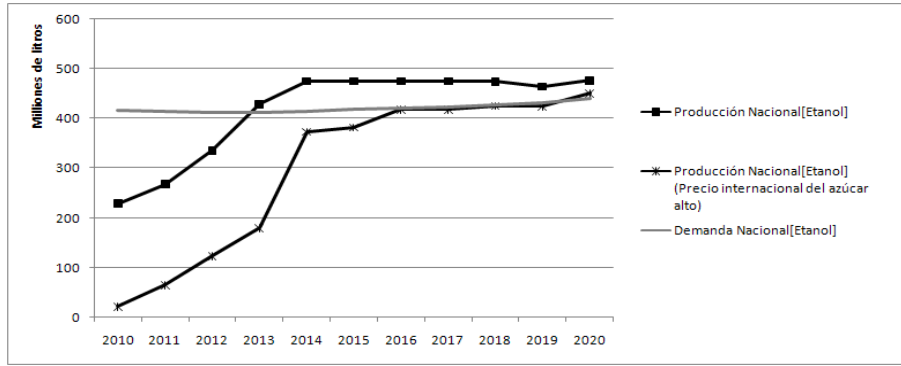


Figura 7. Producción de Etanol vs demanda. Precios internacionales del azúcar

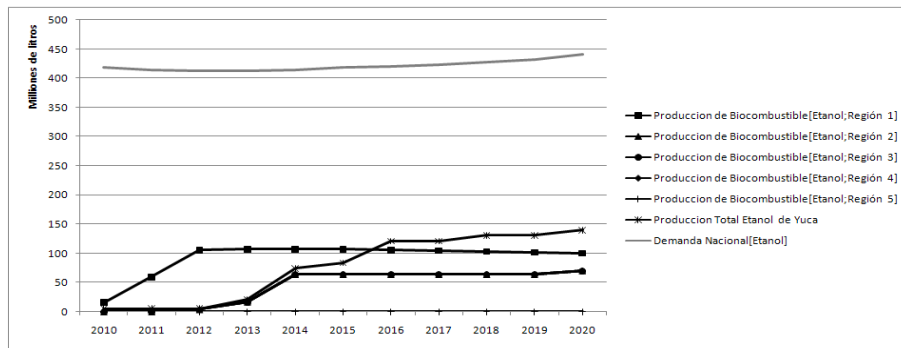


Figura 8. Producción regional de etanol vs demanda. Precio internacional del azúcar alto

Para el análisis de la producción de biodiésel en Colombia, también se analiza un escenario base (escenario 1) en el que se continúa en todo el horizonte con la demanda impuesta actualmente (B8) y con los incentivos dados actualmente por el gobierno. Para el escenario 2 se toma en cuenta la misma demanda que en el caso base pero en ausencia de incentivos.

A diferencia del etanol, se puede notar un contraste entre la producción de biodiésel obtenida con o sin

incentivos. Aunque a lo largo del horizonte de simulación la producción no alcanza a satisfacer la demanda en los dos casos, para cuando se dan incentivos la rentabilidad obtenida alcanza a motivar la inversión, y la demanda insatisfecha se hace cada vez menor (figura 9Figur). Nuevamente, las metas del gobierno no son cumplidas y por lo tanto es necesario revisar, porque los incentivos no están siendo lo suficientemente significativos para obtener la producción necesaria.

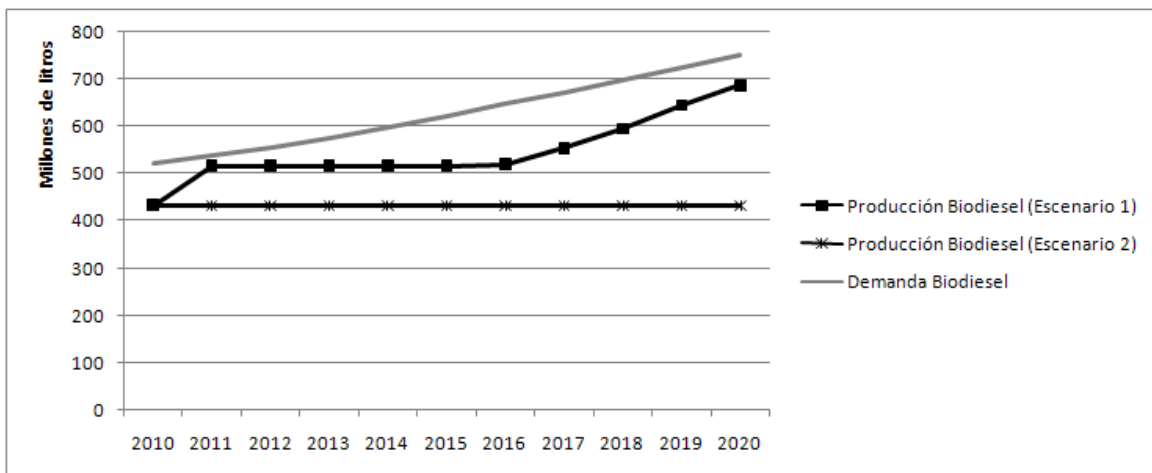


Figura 9. Producción y demanda de biodiésel. Escenario 1 y 2

Para el caso de la producción de biodiésel, los incentivos forman parte importante en la rentabilidad y por lo tanto en la motivación para la inversión. Esto se debe en parte a que la materia prima (aceite de palma africana), la cual representa un alto porcentaje en los costos de producción de biodiésel, tiene un precio bastante alto.

Considerando entonces que a través de los incentivos en la producción de biodiésel en Colombia se está

motivando la inversión, y que aun bajo el porcentaje de mezcla actual no se alcanza a satisfacer la demanda, el incremento de los incentivos dados por el gobierno puede llevar a una mayor producción y por consiguiente a una menor porción de demanda insatisfecha. Aun así, éste incremento no llega a ser suficiente para alcanzar las metas propuestas (figura 10).

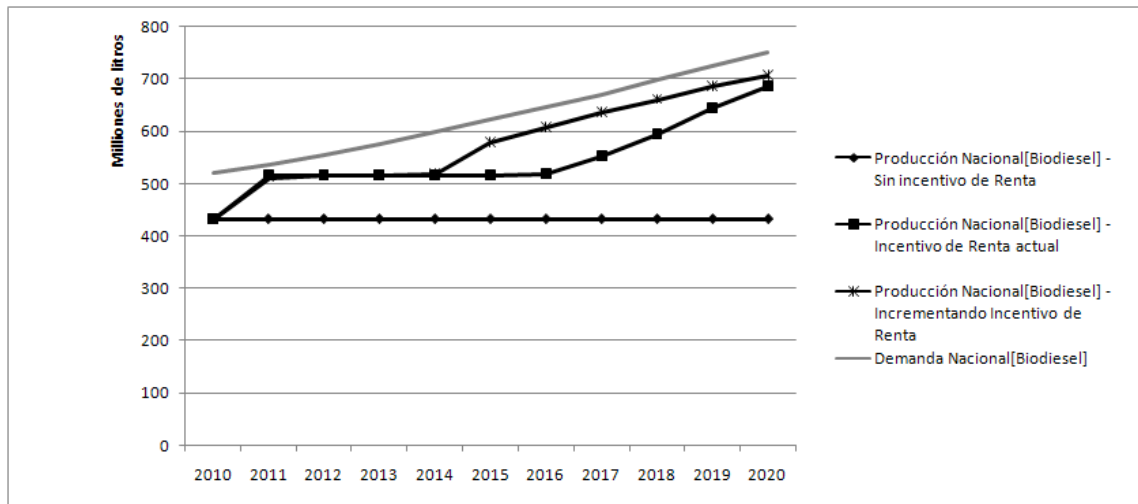


Figura 10. Producción de biodiésel vs. Demanda. Incentivos a la producción

CONCLUSIONES

- Según los resultados encontrados, los incentivos que el gobierno está dando a la producción de etanol en Colombia son superfluos, ya que no se obtiene una reacción diferente de la inversión en presencia o ausencia de ellos. En el caso del biodiésel, aunque los incentivos son necesarios para llevar a un incremento en la producción, no están siendo suficientes para satisfacer la demanda impuesta.

- El uso de materias primas diferentes a las utilizadas tradicionalmente en la producción de biocombustibles en Colombia, como la yuca, representa una buena opción para lograr abastecer la demanda impuesta en el programa que ha creado el Estado.

- La entrada de la producción de etanol a partir de yuca puede requerir de incentivos iniciales, esto porque las zonas en donde se obtienen los mejores rendimientos de la yuca, como los Llanos Orientales, son también zonas potenciales para el cultivo de caña de azúcar, tanto para producción de etanol como para azúcar de exportación.

REFERENCIAS

1. EIA. Renewable Energy Explained. [En línea] 1 de octubre de 2010. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] http://tonto.eia.doe.gov/energyexplained/index.cfm?page=renewable_home.
2. MYINT, Lay L. Y EL-HALWAGI, Mahmoud M. Process analysis and optimization of biodiesel production from soybean oil. Clean Technologies Environmental Policy. [En línea] 2009. [Citado el: 2 de Noviembre de 2010.] <http://www.springerlink.com/content/m673580p1626n12w/>.
3. ESCOBAR, José C., y otros. Biofuels: Environment, technology and food security. Renewable and Sustainable Energy Reviews. [En línea] Agosto de 2009. [Citado el: 2 de Noviembre de 2010.] <http://www.sciencedirect.com/>.
4. RFA. Public Policy. [En línea] 2010. [Citado el: 2 de Noviembre de 2010.] <http://www.ethanolrfa.org/pages/public-policy>.

5. OLADE. Legislación de biocombustibles en América Latina y el Caribe. [En línea] mayo de 2010. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] <http://www.olade.org.ec/legislacionBio.html>.
6. EBB. [En línea] 2009. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] <http://www.ebb-eu.org/index.php>.
7. PROEXPORT. Biofuels Industry in Colombia. [En línea] 2008. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] <http://www.proexport.com.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo5452DocumentNo6979.PDF>.
8. IEA. Sustainable Production of Second-Generation Biofuels. [En línea] febrero de 2010. [Citado el: 2 de Noviembre de 2010.] http://www.iea.org/papers/2009/biofuels_exec_summary.pdf.
9. FELIX, Erika; CARDONA, Carlos y QUINTERO, Julián. FAO. [En línea] Junio de 2010. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] <http://WWW.FAO.ORG/DOCREP/012/I1544E/I1544E05.PDF>.
10. HEDERICH, David; CALA, F. CORPODIB. [En línea] 2008. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] www.biocombustiblescolombia.com/.../biocombustiblesdavidcala.doc.
11. CORPOICA. Estrategia de desarrollo de biocombustibles: Implicaciones para el sector agropecuario. [En línea] 2007. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Convenio/Documentos/EstrategiaDesarrolloBiocombustiblesColombia.pdf>.
12. Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. El ABC de los Alcoholes Carburantes. [En línea] 2010. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] <http://www.fedebiocombustibles.com/v2/main-pagina-id-5.htm>.
13. Fedebiocombustibles. Cifras informativas del sector de biocombustibles- Etanol. [En línea] septiembre de 2010. [Citado el: 12 de septiembre de 2010.] www.fedebiocombustibles.com.
14. —. Cifras Informativas del sector de biocombustibles - Biodiesel. [En línea] Septiembre de 2010. [Citado el: 12 de septiembre de 2010.] www.fedebiocombustibles.com.
15. El Congreso de Colombia. Ley 693 de 2001. [En línea] septiembre de 2001. [Citado el: 27 de febrero de 2010.] http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley/2001/ley_0693_2001.html.
16. —. Ley 788 de 2002. [En línea] 2002. [Citado el: 2 de mayo de 2009.] <http://www.secretariassenado.gov.co/leyes/L0788002.HTM>.
17. —. Ley 939 de 2004. [En línea] 2004. [Citado el: 2 de mayo de 2009.] <http://www.secretariassenado.gov.co/leyes/L0939004.HTM>.
18. —. Ley 863 de 2003. [En línea] 2003. [Citado el: 2 de mayo de 2009.] <http://www.secretariassenado.gov.co/leyes/L0863003.HTM>.
19. ARIAS, Andrés Felipe. Los biocombustibles en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. [En línea] 7 de septiembre de 2007. [Citado el: 2 de mayo de 2009.] http://www.minagricultura.gov.co/archivos/biocombustibles_septiembre.pdf.
20. Ministerio de Minas y Energía. Resolución 18 0120 de 2009. [En línea] enero de 2009. [Citado el: 1 de marzo de 2010.] http://www.minminas.gov.co/minminas/kernel/usuario_externo_normatividad/form_consultar_normas_hidrocarburos.jsp?parametro=1826&site=17.
21. —. Resolución 18 1232 de 2008. [En línea] 30 de julio de 2008. [Citado el: 1 de marzo de 2010.] http://www.minminas.gov.co/minminas/kernel/usuario_externo_normatividad/form_consultar_normas_energia.jsp?parametro=1760&site=1.
22. —. Resolución 18 2158 de 2007. [En línea] diciembre de 2007. [Citado el: 1 de marzo de 2010.] http://www.fedepalma.org/document/2007/res_182158_07.pdf.
23. Ministerio de Minas Y Energía. Resolución 18 0134 de 2009. [En línea] enero de 2009. [Citado el: 1 de marzo de 2010.] http://www.minminas.gov.co/minminas/kernel/usuario_externo_normatividad/form_consultar_normas_hidrocarburos.jsp?parametro=1828&site=17.
24. Ministerio de Minas y Energía. Resolución 18 1780 de 2005. [En línea] diciembre de 2005. [Citado el: 8 de marzo de 2010.] http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/2005/46138/r_mme_181780_2005.html.

25. URIBE, Álvaro. Decreto 1135 de 2009. [En línea] 31 de marzo de 2009. [Citado el: 11 de mayo de 2009.] <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosSoporteRevistas/4783.pdf>.
26. —. Decreto 2629 de 2007. [En línea] 2007. [Citado el: 2 de mayo de 2009.] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=25667>.
27. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 2368 de 2009. [En línea] diciembre de 2009. [Citado el: 8 de marzo de 2010.] <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosSoporteRevistas/5673.pdf>.
28. —. Resolución 18 0306 de 2010. [En línea] febrero de 2010. [Citado el: 29 de Octubre de 2010.] http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/2010/47634/r_mme_180306_2010.html.
29. UPME. Diagnóstico del sector energético. [En línea] 2009. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] <http://www1.upme.gov.co/downloads/enlacedepen.pdf>.
30. CIAT. Ya rueda en el Valle primer carro movido con. [En línea] agosto de 2009. [Citado el: 2 de noviembre de 2010.] http://webapp.ciat.cgiar.org/es/sala_not/boletin_75.htm.

Dinámica de Sistemas aplicada a la triada: población, generación de residuos y calidad ambiental. Una perspectiva que integra: la Dinámica de Sistemas y los sistemas dinámicos

System dynamics applied to the triad: population, waste generation and environmental quality. A perspective with dynamical systems

Javier Andrés Solano Rojas
Johan Manuel Redondo Ortegón
Universidad Sergio Arboleda
solano5000@hotmail.com
galileo@ima.usergioarboleda.edu.co

Resumen: como respuesta a la creciente preocupación por nuestra relación con el medio ambiente, surge la necesidad de vincular en un esquema coherente la dependencia que existe entre la población y sus tendencias de comportamiento, el efecto inmediato que éstos tienen sobre el medio ambiente (huella ecológica) al generar residuos y su resultado en la calidad del medio ambiente. Utilizando la Dinámica de Sistemas, podemos visualizar cómo esta triplete ayuda en la comprensión de la problemática que se aborda. Adicionalmente, utilizamos la teoría matemática de los sistemas dinámicos para dibujar mejor la realidad de una situación que día a día cobra más importancia, no solo por lo finito de los recursos que se agotan, sino por el riesgo al que se expone la supervivencia de los seres vivos.

Los resultados invitan a comprender la relación entre las tasas de generación y disposición de los residuos, el compromiso social frente a las tecnologías de disposición y la ya muy demostrada necesidad de transformar nuestros hábitos de consumo.

Palabras clave: población, residuos sólidos, calidad ambiental, Dinámica de Sistemas, sistemas dinámicos y huella ecológica.

Abstract: in response to growing concern about our relationship with the environment, the need to link into a coherent scheme dependence between

people and their behavioral tendencies, the immediate effect they have on the environment (ecological footprint) generating waste and result in environmental quality. Using system dynamics, we can see as this hat helps in understanding the problem being addressed. Additionally, we use the mathematical theory of dynamical systems to draw better the reality of a situation that every day is more important, not only for the finite resources are exhausted, but at the risk that exposes the survival of living beings.

The results invite to understand the relationship between rates of generation and waste disposal, social commitment against available technologies and the already demonstrated need to change our consumption habits.

Key words: population, solid waste, environmental quality, System Dynamics, dynamical systems and ecological footprint.

1. INTRODUCCIÓN

2.

Dadas las actuales circunstancias en el orden ecológico mundial, pretendemos en este artículo abordar la discusión sobre la generación de residuos por parte de la población y su incidencia en la calidad del medio ambiente, que con el paso del tiempo se marca cada vez más en forma negativa.

Es así que como resultado de múltiples investigaciones por parte de organismos internacionales, [1-3] se han logrado puntos de encuentro que permiten encaminar en forma más acertada las acciones para el manejo de los recursos, los desechos y los daños causados al medio ambiente en general. Tal es el caso del protocolo de Kioto que a su paso ha plantado las bases de lo que marcará sin duda alguna el futuro de las generaciones por venir.

Tal nivel de concienciación abre las puertas para abordar la problemática en torno a la generación de alternativas en la solución de los problemas ambientales del planeta y sus efectos sobre la vida en general, de esta forma es que se plantea a través de la Dinámica de Sistemas un modelo en el cual estos tres elementos: población, residuos y calidad ambiental se integran con el objetivo de darle vida y crear un modelo matemático muy sencillo y a la vez claro que desarrolla la calidad ambiental como una función de los residuos.

2. TRIADA: POBLACIÓN, GENERACIÓN DE RESIDUOS Y CALIDAD AMBIENTAL

2.1 DEL MEDIO AMBIENTE

Al abordar una temática tan compleja y a la vez profunda, es necesario definir quiénes son los actores determinantes y sus principales manifestaciones, para determinar su relevancia e importancia al interactuar dentro del sistema.

Es de esta forma, que partiendo de la problemática ambiental existente en el mundo, reconocida y estudiada por organismos internacionales como las Naciones Unidas [4], surge la necesidad de profundizar en la investigación del deterioro de la calidad ambiental y de cómo dicho detrimento no solo juega en contra de la salud humana sino también de su futuro [5].

Es evidente por muchas situaciones del acontecer diario que la población y el uso de los recursos han aumentado significativamente en los últimos años [6], dichos incrementos obedecen principalmente a un aumento en la población del planeta, que como consecuencia lógica trae consigo un aumento en el consumo de bienes, alimentos y usos diversos del territorio y sus elementos [7].

En Colombia, esta problemática no es ajena a los ojos del gobierno nacional. Dentro de los objetivos del gobierno central se destaca la formulación de políticas que armonicen con el desarrollo, la salud y el ambiente con el objeto de mitigar el deterioro ambiental generado por el desarrollo industrial, el

crecimiento desordenado y los procesos productivos que en general producen desechos que terminan afectando la calidad del ambiente.

Es a partir de estas inquietudes que el gobierno central ha definido los lineamientos para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental, con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química [8] a través del Consejo Nacional de Política Económica y Social, (CONPES), que entre otros aspectos resalta el alto costo que dichos fenómenos tienen para el estado [9] y muestra claramente una bitácora que enfila los esfuerzos hacia el adecuado manejo de los recursos naturales.

Adicionalmente a los documentos que hacen parte de las políticas de Estado, el gobierno central, preocupado por la situación del medio ambiente a nivel mundial, se ha comprometido con la comunidad internacional aprobando y firmando el Protocolo de Kyoto [10], el Protocolo de Montreal [11], el Convenio de Basilea [12] entre otros.

2.2 LA TRIADA

La incontenible ola de información respecto a los cambios en el medio ambiente y la forma en que el hombre ha influido sobre éstos, hace que desde la academia se formulen preguntas, modelos y herramientas que permitan estudiar, analizar y comprender dichas circunstancias bajo una perspectiva diferente, en aras de entender mejor lo que está sucediendo a nuestro alrededor.

Por esta razón desde la Dinámica de Sistemas es sumamente alentador y enriquecedor considerar las relaciones existentes entre población, generación de residuos y calidad ambiental, ya que de la interacción e interrelación presente en éstas, se deriva toda una serie de análisis que va desde las implicaciones económicas [13] hasta las de carácter legal [14].

Estudios realizados alrededor del mundo muestran diferentes opiniones respecto a la influencia que la población tiene sobre su medio ambiente, llegando al punto algunos de afirmar que solamente en ausencia completa de la población [15] sería posible causar un impacto cero en el medio, esto con el fin de limitar e imposibilitar nuevos asentamientos humanos en zonas que se consideran importantes para el desarrollo de nuevas formas de vida o para su supervivencia.

Tales restricciones encuentran eco en argumentos que sostienen que incrementos en la población no solo generan cambios por sus asentamientos sobre el

terreno, adicionalmente plantean una mayor demanda de recursos [16] que pone en riesgo ecosistemas que derivan su existencia de los múltiples componentes del medio ambiente en general.

Siguiendo la línea del análisis a la población, es extraño que las dos caras de la misma moneda conduzcan al mismo resultado, por una parte se encuentra la riqueza que genera más consumo, más contaminación y más desechos, y por otra encontramos que la pobreza encarnada por la falta de recursos, la ausencia de tecnología y la falta de poder para cambiar las cosas son el caldo de cultivo perfecto para seguir aumentando la presión [17] sobre el medio ambiente. En ambos casos la variable población es pieza fundamental para el análisis de las influencias negativas sobre el medio ambiente.

Respecto del crecimiento poblacional y desde una perspectiva diferente, se puede ver cómo ésta conlleva a una inusitada demanda de productos y a unos hábitos de consumo que crean una atmósfera en la que los organismos encargados de la vigilancia y el control en el manejo de los recursos y los desechos, simplemente fungen como espectadores [18] sin tomar las medidas necesarias para hacer efectivo el control para la prevención del envenenamiento y la extinción de los ecosistemas. Dicha situación no es más que el producto de las relaciones económicas que se dan en los mercados, que por un lado necesitan del pago de impuestos por parte de las empresas, y por el otro deben hacer cumplir las normas para los contribuyentes, relación de tipo mercantil que degenera en un juego de intereses que hacen parte del mencionado conflicto.

Dependiente de las relaciones entre población y demanda, surge entonces la generación del residuo contaminante (atributo indispensable en nuestro esquema) que ha suscitado una discusión en torno a la posibilidad que tienen las empresas para resarcir de alguna manera el daño causado al medio ambiente. Se traslada entonces la discusión al plano filosófico, dejando de lado la cuestión económica, escenario que se ve reforzado por dos puntos de vista: el primero tiene que ver con que el único nivel de contaminación aceptado es cero, en segundo lugar se encuentra la tesis que afirma la existencia de los recursos comunes que, como la atmósfera, no puede y no debe ser objeto de apropiación por parte de individuos de carácter privado [19].

Adicional a la discusión que genera el hecho de contaminar y pagar, existe otro punto de vista que permite ver cómo la generación del residuo y su posterior cobro influye en la actividad del generador

hacia futuro. El hecho de aproximarse a la cuantificación del daño y generar un cobro hace que las empresas inviertan recursos en tecnología que les permitan reducir el costo que les está generando éste [20], adicionalmente reafirma las bases de compromisos hechos por los gobiernos bajo el marco de diferentes tratados internacionales [21].

Completando la triada, se encuentra la calidad ambiental que cierra el ciclo de análisis de las variables contempladas para el estudio. Esta variable que es afectada por una población generadora de residuos encuentra múltiples definiciones que pretenden revelar lo que es, y en lo que se puede convertir. Un acercamiento a lo que es la calidad ambiental es la definición hecha por García (2005), que estima que la calidad ambiental “es una medida de la posibilidad de que un gran número de procesos influyan en la evolución y desarrollo de los constituyentes del sistema”. Definición que plantea la existencia de un gran número de procesos que se traduce en sistemas ricos y que en términos orgánicos refleja una vasta diversidad biológica, aproximándonos a la complejidad que representa un sistema “que con muchas especies bioquímicas puede construir redes más complejas, robustas y estables” [22].

En este sentido ya existen mediciones hechas por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF- World Wide Fund for Nature) que permiten aproximarse al impacto que generan las sociedades en diferentes partes del mundo. Dicha aproximación, de entrada, tajantemente diferencia sociedades en razón a que es de acuerdo con el estilo de vida que cada sociedad lleva que se afecta el medio ambiente. La denominada Huella Ecológica entonces sirve como medida del consumo y capacidad de la tierra no solo para producir sino para asimilar los desechos que genera un determinado comportamiento en el consumo [23].

Así las cosas, es claro que el impacto negativo de los residuos sobre la evolución y el desarrollo de los constituyentes del sistema medio ambiente termina afectando el ser humano como componente del mismo, razón por la cual se hace necesario estudiar y modelar este sistema bajo las premisas establecidas, a fin de determinar su comportamiento y las tendencias que registra bajo el enfoque de Dinámica de Sistemas.

2.3 MÉTODO

Definidos los atributos del sistema, debe ser claro cómo interactúan, y la forma en que cambian a través del tiempo, razón que impulsa la utilización de una

metodología que permita analizar su comportamiento desde la complejidad, no perdiendo de vista las múltiples relaciones que existen y determinando sus relaciones de influencia. Para este fin se ha decidido trabajar desde la metodología de la Dinámica de Sistemas el problema de la generación de residuos y sus impactos negativos en el medio ambiente.

2.4 DIAGRAMA DE INFLUENCIAS y DIAGRAMA DE NIVELES Y FLUJOS

Para empezar a dilucidar cómo funciona el sistema, es necesario comprender que el incremento en la población crea automáticamente una demanda mayor de insumos y productos [24] que dentro de un proceso productivo generan residuos y contaminación que terminan afectando el medio ambiente y la calidad ambiental para los seres vivos en su entorno. En igual forma una disminución en la población hace que la demanda se reduzca y que el efecto del proceso productivo sea inferior, reduciendo así el impacto en el ambiente y la calidad ambiental.

Partiendo de la población y siguiendo la hipótesis planteada, es posible ver que los nacimientos hacen que se cree un bucle de realimentación positivo que muestra cómo un aumento en la población existente hace que aumente también la posibilidad de que existan nuevos nacimientos; en contraposición también es posible ver cómo al relacionar las variables población y muertes de población se crea un bucle de realimentación negativo o estabilizador que dibuja la relación existente entre un mayor número de población, y a la vez una posibilidad también mayor de fallecimientos en esta población.

Si bien es cierto que el aumento y la disminución de la población tienden a estabilizarse, lo es también que dentro de este sistema la población genera residuos derivados de la producción y el consumo de productos y servicios, [25] que se acumulan y se ubican en sitios dispuestos para tal fin.

En este sentido se puede afirmar que el impacto cero en el medio ambiente es un ideal difícil de alcanzar y que el paradigma del desarrollo sostenible es una meta que resulta difícilmente compatible con las teorías e ideologías mercantilistas que predominan en la historia moderna, que además son partidarias de un crecimiento económico y de una productividad a ultranza que desconocía en principio el daño causado al medio ambiente y aún después de conocerlas, las impugna y las desconoce [26].

Completando la relación que deriva de la existencia de los residuos generados en un proceso productivo por la población existente, es posible reconocer la estrecha relación presente entre la existencia de los residuos en mención y su estrecha relación con la calidad ambiental. Así encontramos que a un incremento en el volumen de residuos existentes, menor va a ser la calidad ambiental de las aéreas que dichos residuos afectan [27].

Por otra parte, en términos ambientales, las condiciones dadas para un sistema que no presenta alteraciones en sus constituyentes son más favorables para el desarrollo de redes biológicas más robustas, complejas y estables, [28] derivándose del diagrama causal, que un aumento en la calidad ambiental reduciría las posibilidades, si no de muerte, de un ambiente más adverso y con una posibilidad más alta de que un gran número de procesos influyan negativamente en la evolución y desarrollo de los constituyentes del sistema.

El diagrama de influencias (figura No. 1) resume los argumentos anteriores.

3. FIGURAS Y ECUACIONES

3.1. FIGURAS

En la **figura 1** se muestra el diagrama de influencias o causas, en donde se presentan las principales relaciones existentes entre los atributos de la triada población, generación de residuos y calidad ambiental.

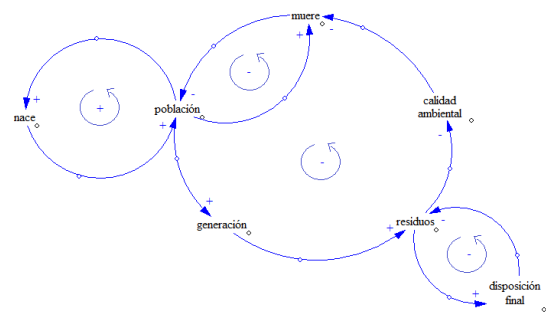


Figura 1. Diagrama de Influencias o Causal

En la **figura 2** se muestra el diagrama de Forrester o de niveles y flujos de nuestro problema de investigación.

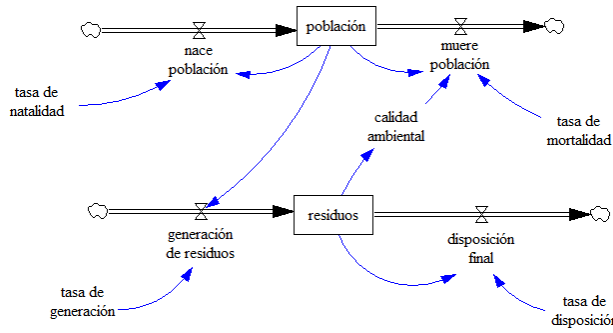


Figura 2. Diagrama de Forrester o Niveles y Flujos

3.2 ECUACIONES

3.2.1 Ecuaciones de nivel

$$\frac{dx}{dt} = \text{Nace } x - \text{Muere } x$$

$$\frac{dy}{dt} = \text{Generación} - \text{Disposición}$$

3.2.2 Ecuaciones de flujo

Nace $x = \text{tasa de natalidad}$
Muere $x = \text{tasa de mortalidad}$
Generación $= \text{tasa de generación} * x * \text{calidad}$
Disposición $= \text{tasa de disposición} * y$

3.2.3 Ecuación auxiliar

calidad $= \text{función que depende de } y$

3.2.4 Parámetros

$a = \text{tasa de natalidad}$
 $b = \text{tasa de mortalidad}$
 $c = \text{tasa de generación}$
 $d = \text{tasa de disposición}$

A partir de las ecuaciones y parámetros anteriores se construyó el modelo matemático que representa el sistema:

$$\dot{x} = ax - bx * f(y)$$

$$\dot{y} = cx - dy$$

Note que en este modelo hace falta especificar cuál es la función de calidad $f(y)$. En este trabajo se asumieron dos hipótesis:

- La calidad ambiental es inversamente proporcional a los residuos acumulados.

Para esta hipótesis la función de calidad es la siguiente:

$$f(y) = 1/y$$

- La calidad ambiental se ve exponencialmente afectada por la cantidad de residuos. Para esta hipótesis la función de calidad sería:

$$f(y) = e^{-y}$$

Si se asume la primera hipótesis como cierta, entonces el modelo que representa el sistema es el siguiente:

$$\dot{x} = ax - \frac{bx}{y}$$

$$\dot{y} = cx - dy$$

El modelo es, por lo tanto, un sistema dinámico no lineal con matriz de evolución singular, ya que la recta $y=0$ no está en el dominio del campo vectorial.

Este sistema tiene un equilibrio tipo silla en $(bd/ac, b/a)$, que para los valores de los parámetros de este trabajo está muy cerca del origen, lo cual hace que se distinga la variedad inestable que viene dada por la fórmula:

$$y = \frac{2cx}{d + \sqrt{d^2 + 4ad}}$$

Esta recta atrae las trayectorias del campo vectorial mostrándonos la dinámica que se presenta en la **Figura 3**.

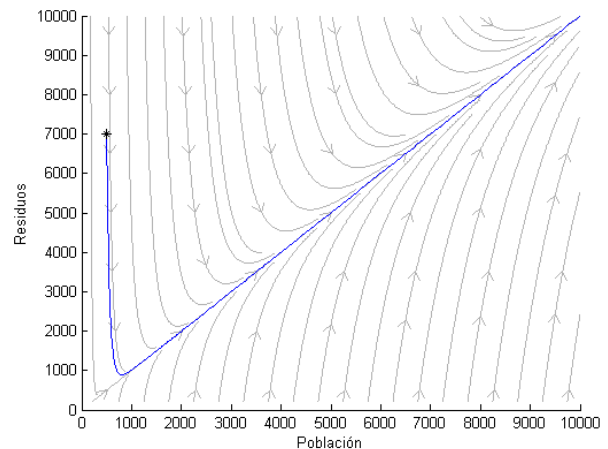


Figura 3. Espacio de fase del sistema. En éste se resaltó la trayectoria con condiciones iniciales $x(0)=500$, $y(0)=7500$.

La evolución temporal para las mismas condiciones iniciales la vemos en la **figura 4**.

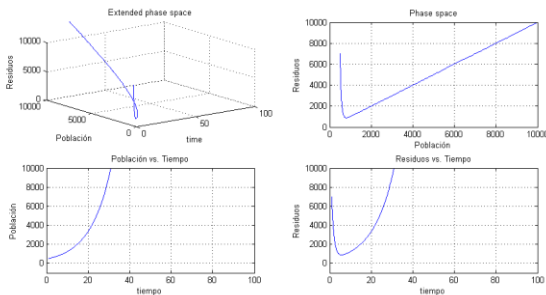


Figura 4. Espacio de fase extendido, espacio de fase y evoluciones temporales de las variables. Trayectoria con condiciones iniciales $x(0)=500$, $y(0)=7500$.

4. CONCLUSIONES

Tomada la hipótesis de una relación inversa entre calidad ambiental y residuos acumulados, evidenciamos una dinámica muy interesante entre la población y sus residuos. Tal dinámica muestra dos intenciones:

- En la primera (condiciones iniciales por encima de la variedad inestable), los residuos disminuyen, aumentando la calidad ambiental, la cual a su vez favorece las condiciones para el incremento de la población. Pero al incrementarse la población, aumentan linealmente los residuos que estos generan, desmejorando su calidad ambiental.
- En la segunda (condiciones iniciales por debajo de la variedad inestable), tanto la población como sus residuos crecen hasta alcanzar la recta de equilibrio en donde aumentan conjuntamente de forma lineal.

Se nota entonces en las dos intenciones dinámicas una dependencia con respecto a la posición de la variedad inestable.

Lo que podríamos pretender es que la pendiente de tal recta se encuentre lo más cercanamente posible a cero, esto significaría que el incremento en la población, aún cuando significase un aumento en los residuos, lo haría de forma poco significativa, es

decir, no alteraría la calidad ambiental. Esta condición para la recta se verifica con:

$$c \ll \frac{d + \sqrt{d^2 + 4ad}}{2}$$

Es decir, la tasa de generación debe ser mucho menor que una relación compleja entre la tasa de disposición de los residuos y la tasa de natalidad.

Adicionalmente, si la pendiente de la recta fuese igual a cero –situación que sería motivada por la inexistencia de generación de residuos– estaría el sistema demostrando que la única forma en que no existe deterioro de la calidad ambiental es en un escenario donde no se halla presente una población que ejerza presión sobre el mismo.

Estos argumentos justifican la necesidad de implementar tecnologías para la disposición adecuada de los residuos y la transformación cultural de nuestra sociedad de consumo.

5. REFERENCIAS

[1] Organización de los Estados Americanos, Departamento de Desarrollo Sostenible, Publicaciones <http://www.oas.org/dsd/Spanish/Publicaciones1.htm> [citado 15 de Octubre de 2010].

[2] Fondo de Población de las Naciones Unidas, Niveles de desarrollo y efectos sobre el medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología, 2009.

[3] United States Agency for International Development (USAID), environment, http://www.usaid.gov/our_work/environment/ [citado 14 de Octubre de 2010].

[4] Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático <http://www.unfccc.int> [citado 20 de Octubre de 2010].

[5] Fondo de Población de las Naciones Unidas, Niveles de desarrollo y efectos sobre el medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología, 2009.

[6] Fondo de Población de las Naciones Unidas, Niveles de desarrollo y efectos sobre el medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología, 2009, p. 15

- [7] Fondo de Población de las Naciones Unidas, Niveles de desarrollo y efectos sobre el medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología, 2009, p. 7.
- [8] Departamento Nacional de Planeación, CONPES 3.550 Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química, 11/2008.
- [9] Departamento Nacional de Planeación, CONPES 3550 Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química, 11/2008, p. 12.
- [10] Congreso de Colombia, Ley 629 de 2000, 12/2000.
- [11] Congreso de Colombia, Ley 29 de 1992, 12/1992.
- [12] Congreso de Colombia, Ley 253 de 1996, 01/1996
- [13] PALACIO, Andrés. Medio ambiente y comercio, Red Oasis, 10/2009.
- [14] Congreso de Colombia, Constitución Política de Colombia, 1991, Artículos 49, 81 y 366.
- [15] GARCÍA QUESADA, Jesús. Análisis de bifurcaciones en modelos de calidad ambiental, tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España, 2005.
- [16] Fondo de Población de las Naciones Unidas, Niveles de desarrollo y efectos sobre el medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología, 2009, p. 7.
- [17] Fondo de Población de las Naciones Unidas, Niveles de desarrollo y efectos sobre el medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología, 2009, p. 7.
- [18] ANGULO SÁNCHEZ, N. Pobreza, medio ambiente y desarrollo sostenible, Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas, Universidad Complutense de Madrid, 26 de febrero de 2010, 33-42.
- [19] GUTIÉRREZ FRANCO, Yanna, El comercio de emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea: efectos sobre el crecimiento económico y la calidad ambiental, tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2003.
- [20] GUTIÉRREZ FRANCO, Yanna. El comercio de emisiones de gases de efecto invernadero en la unión Europea: efectos sobre el crecimiento económico y la calidad ambiental, tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2003.
- [21] Kyoto Protocol Reference Manual On Accounting Of Emissions And Assigned Amount http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf [citado 31 de octubre de 2010].
- [22] GARCÍA QUESADA, Jesús. Análisis de bifurcaciones en modelos de calidad ambiental, tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España, 2005.
- [23] Reducing humanity's impact, World Wide Fund for Nature <http://www.wwf.org> [citado 31 de octubre de 2010].
- [24] Fondo de Población de las Naciones Unidas, Niveles de desarrollo y efectos sobre el medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología, 2009, p. 7.
- [25] Fondo de Población de las Naciones Unidas, Niveles de desarrollo y efectos sobre el medio ambiente, Instituto Nacional de Ecología, 2009, p. 18.
- [26] GARCÍA QUESADA, Jesús, Análisis de bifurcaciones en modelos de calidad ambiental, tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España, 2005.
- [27] ANGULO SÁNCHEZ, N. Pobreza, medio ambiente y desarrollo sostenible, Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas, Universidad Complutense de Madrid, 26 de Febrero de 2010, 33-42.
- [28] GARCÍA QUESADA, Jesús. Análisis de bifurcaciones en modelos de calidad ambiental, tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España, 2005.
- [29] ARACIL, Javier, Dinámica de Sistemas, Isdefe, 03/1995, p. 34.

PLANEACIÓN

Aplicación de la metodología sistémica para elaborar y mantener un cuadro de mando integral dinámico (dynamic balanced scorecard) – MSDBSC - EM: una experiencia peruana

An application of the systemic methodology for elaborating and maintaining a dynamic balanced scorecard – MSDBSC-EM: a peruvian experience

Ricardo A. Rodríguez Ulloa, Ing., M.A.
CENTRUM Católica Escuela de Negocios
Pontificia Universidad Católica del Perú
Email: rrodriguez@pucp.edu.pe
Lima – Perú

Resumen: en el presente artículo se presenta una metodología sistémica para la elaboración y mantenimiento de un Cuadro de Mando Integral Dinámico (Dynamic Balanced Scorecard) y explica su aplicación a un caso peruano.

La mencionada metodología se denomina Metodología Sistémica para Elaborar y Mantener un Cuadro de Mando Integral y Dinámico (Dynamic Balanced Scorecard) – MSDBSC – EM y consta de 11 etapas, como se mostrará en el presente capítulo.

Durante el período 1998 – 2001 se desarrolló esta metodología en el Instituto Andino de Sistemas – IAS, de Lima – Perú, en un proyecto de investigación en la acción con la finalidad de ver las posibilidades de desarrollar un marco metodológico para la implantación y mantenimiento de Cuadros de Mando Integrales y Dinámicos (Dynamic Balanced Scorecards) en organizaciones de distinto tipo, tamaño y finalidad. Como consecuencia de ello se establecieron diversos estudios piloto y trabajos de consultoría, los mismos que se desarrollaron en un banco (Perú), una asociación cultural (Perú), una pequeña empresa (Perú) y un sistema social complejo (una provincia, Argentina). A partir del desarrollo de estas experiencias concretas, adelantadas en ese período, se llegó a establecer un marco metodológico que permite conjugar los planteamientos de los

profesores Kaplan y Norton, en lo referente al Balanced Scorecard, con los marcos metodológicos existentes en el enfoque de sistemas, concretamente en lo que respecta a la Dinámica de Sistemas planteada por los profesores Jay Forrester, Peter Senge y John Sterman, entre otros. Alrededor de ellos se instalaron además diversos aportes conceptuales y herramientas de gestión estratégica, principalmente las planteadas por Fred David. La MSDBSC – EM viene siendo utilizada actualmente para el desarrollo de Cuadros de Mando Integrales en diversas organizaciones peruanas de distinto tamaño y tipo.

El aporte del presente trabajo es proveer de una metodología sistémica que permita la creación y el mantenimiento de un Cuadro de Mando Integral y Dinámico, para la dirección estratégica efectiva. Ética, sostenible y orientada al aprendizaje de organizaciones privadas, públicas o de sin fines de lucro, mediante el uso de la Dinámica de Sistemas y de conceptos y teorías provenientes del Pensamiento Sistémico y de la Estrategia Empresarial.

Palabras clave: estrategia, dynamic balanced scorecard, metodología, cuadro de mando integral, indicadores, Dinámica de Sistemas, aprendizaje organizacional

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha venido desarrollando un conjunto de herramientas para el mejoramiento del desempeño estratégico organizacional.

Diversos enfoques han sido empleados para ello. En el ámbito sistémico, son conocidos los aportes del Modelo de Sistema Viable, del Prof. S. Beer (1981, 1985), la Metodología de Sistemas Blandos, del Prof. P.B. Checkland (Checkland; 1981, 1990, 1999; Checkland & Holwell, 1998; Checkland & Poulter, 2006), los aportes en Generic Design del Prof. J. N. Warfield (1994), la Dinámica de Sistemas del Prof. Jay Forrester (Forrester, 1965; Sterman, 2000; Morecroft, 2007) y las 5 disciplinas del Prof. Peter Senge (Peter, 1991), Planeación Interactiva de R. L. Ackoff (1981, 1984, 1986), entre otros.

En el campo del pensamiento estratégico, es importante mencionar los aportes de H. I. Ansoff (1965), M. Porter (1992, 1996), H. Mintzberg (1997), P. Lorange (1980), G. Steiner (1984), F. David (1997), entre los principales.

Sin embargo, no es sino en años recientes que se ha dado un salto cualitativo en lo referente a la dirección estratégica de las organizaciones, por dos razones: la primera, por el desarrollo de tecnologías para el manejo de grandes bases de datos, surgiendo diversos conceptos (datawarehouse, datamining, Business Intelligence, CRM, ERP, CI, BPM, entre otros) y la segunda, en el desarrollo conceptual cada vez más sistémico del modelo organizacional que practican los expertos en estrategia, lo cual permite una visión integral de la misma.

La idea de la visión global de la organización llevó a que en 1992, los profesores Kaplan y Norton (Kaplan & Norton, 1996, 2001, 2004; López Viñeola, 1998; Niven, 2006; Ballvé, 2002; Villajuana, 2010) desarrollasen el concepto de Cuadro de Mando Integral (CMI) (Balanced Scorecard) como un instrumento para la gestión estratégica que consolide diversos aspectos del comportamiento de las organizaciones. Antes de ello, algunos de los sistemistas mencionados ya venían dando aportes sobre este particular, en diversas presentaciones hechas en encuentros académicos y artículos publicados en diversas revistas especializadas; con enfoques distintos al propuesto por Kaplan y Norton, pues se apoyan en marcos metodológicos sistémicos y cibernéticos, pero que en sí, tienen la misión de obtener una visión sistémica de las mismas, que es lo que también persigue el Balanced Scorecard.

2. ¿Qué es Cuadro de Mando Integral (Balanced Scorecard)?

El Cuadro de Mando Integral (Balanced Scorecard) es un enfoque que plantea ver a la organización desde 4 perspectivas distintas e interrelacionadas (en su versión original):

- La Visión desde el punto de vista financiero.
- La visión desde el punto de vista del cliente.
- La visión de los procesos internos de la organización.
- La visión de la innovación, desarrollo y el crecimiento.

La idea también es que dentro de estas visiones se establezcan diversos indicadores de gestión, que permitan hacer un seguimiento adecuado del desempeño de cada una de estas áreas y sus relaciones con las demás, y en consecuencia, lograr un sistema de medición integral y permanente del desempeño de la organización como un todo, integrando a la vez la misión y visión de la organización con los indicadores de gestión. En otras palabras, la idea es ver cómo se puede concebir e implantar un proceso estratégico desde el cumplimiento de la misión y visión, a partir de un seguimiento en el tiempo de los distintos indicadores pertenecientes a las cuatro perspectivas indicadas. En realidad el análisis de un cuadro de mando integral puede abarcar más allá de las cuatro perspectivas propuestas por Kaplan y Norton y esto dependerá del tipo de la organización y de cómo esté establecida la misión y visión de la misma.

2.1 La visión desde el punto de vista financiero

La visión desde el punto de vista financiero tiene por objetivo hacer un seguimiento de la gestión financiera de la organización, a fin de manejar cuatro aspectos fundamentales: Liquidez, Solvencia, Rendimiento y Actividad.

Entre los indicadores que nos muestran la evolución de la liquidez de la organización pueden mencionarse:

- Prueba ácida
- Liquidez

Entre los indicadores que muestran la evolución de la solvencia están:

- Relación Deuda/Capital
- Cubrimiento de la Deuda

Entre los indicadores que permiten tener una idea del rendimiento están:

- El ROS (Return on Sales)
- El ROI (Return on Investment)
- El ROE (Return on Equity)
- El ROCE (Return on Capital Employed)

Entre los indicadores que se estudian para analizar los ratios de actividad de la organización, se pueden mencionar a:

- Rotación de activos fijos
- Rotación de inventarios
- Rotación de cuentas por cobrar
- Período promedio de cobro

2.2 La visión desde el punto de vista del cliente

La visión del cliente tiene por objetivo ponerse en la posición de a quiénes sirve la organización y analizar su impacto en la satisfacción de sus necesidades. Desde esta perspectiva es posible establecer un conjunto de indicadores que pueden permitir evaluar la gestión de la organización en el cumplimiento de satisfacer las necesidades de los clientes.

Entre los principales indicadores podrán mencionarse:

- Cobertura de mercado
- Número de reclamos
- Número de devoluciones
- Reincidencia del cliente por nuestros servicios
- Imagen del producto o servicio
- Imagen de la organización
- Volumen de ventas
- Número de clientes
- Tipos de clientes
- Grado de satisfacción de los clientes

2.3 La Visión de los Procesos de la Organización.

La visión de los procesos de la organización está relacionada con el estudio de indicadores que midan el impacto en la mejora, cambios o inclusión de los procesos de gestión de la organización. La idea en esta visión es que se tengan indicadores que permitan evaluar cuáles son los procesos críticos que dan valor agregado al producto o servicio que se brinda y ver su evolución en el tiempo.

Los procesos que se evalúen pueden ser de carácter estratégico, táctico e inclusive operativo. La relevancia del Cuadro de Mando es que plantea una relación de causa-efecto entre dichos procesos, que en suma, es la búsqueda de la medición del accionar sinérgico de la organización. En concreto los indicadores que se plantean en esta perspectiva tienen

que ver con la medición y el planeamiento de la calidad de los procesos y el ciclo temporal de cada uno de ellos. La figura No. 1 sintetiza la explicación brindada.

Resulta de particular interés aquí el saber modelar los procesos internos, que nos ayuden a comprender la forma como se manifiesta la cadena de valor (Porter, 1996) de la organización y el tipo de indicadores que será menester desarrollar para lograr la medición del desempeño de los procesos internos que conforman dicha cadena de valor.

Por otro lado, podríamos decir, desde la visión de sistemas, que el análisis debería ir más allá de la cadena de valor. En realidad, debe analizarse todos los procesos, dado que ellos están sinérgicamente interactuando en toda la organización y hacen que la misma se comporte de un modo particular en un espacio – tiempo determinado. Sin embargo, hay que recalcar que esta perspectiva, como la anterior, solo está mostrando las actividades presentes de la organización, mas no nos brinda una idea de lo futuro por hacer o desarrollar. Para ello está la siguiente perspectiva.

2.4 La visión de la innovación, desarrollo y el crecimiento.

La visión de la innovación, el desarrollo y el crecimiento permite a la organización establecer un conjunto de objetivos e indicadores con relación a lo por hacer en ella en el futuro. Es decir, que se trata de indicadores que miran hacia el presente y futuro de la organización.

Aquí pueden estar indicadores que tienen que ver con medir el impacto de los procesos de capacitación de personal, los nuevos proyectos de innovación tecnológica de la organización, el mejoramiento en la imagen de la organización, el impacto de una visión compartida, también es posible medir en esta perspectiva el impacto del clima organizacional, el valor del conocimiento del mercado, la importancia del dominio de un conocimiento determinado o la importancia de tener una red de conexiones a nivel internacional, igualmente, la capacidad de brindar empoderamiento (empowerment) al personal y su impacto en los resultados financieros (ya sea en costos o ingresos) o el impacto de la introducción de una tecnología determinada. En suma están los indicadores que tienen que ver con la medición de las habilidades, talentos y capacidades de los empleados y las potencialidades de la organización

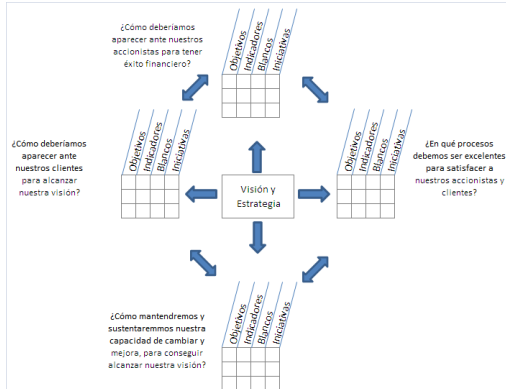


Figura No. 1: Una visión general del Cuadro de Mando Estratégico. (Balanced Scorecard) (Tomado de Kaplan y Norton, 1996).

El Cuadro de Mando Estratégico (Balanced Scorecard), luego de un período de pruebas en diversa organizaciones norteamericanas y de otros contextos en un período comprendido entre 1992 y 1996, fue lanzado a la palestra, como una herramienta que serviría para la gestión estratégica de las organizaciones. De esa fecha al presente, podría decirse que efectivamente el Cuadro de Mando estratégico desearía ver de una organización, para determinar su crecimiento y desarrollo.

De allí que se esté convirtiendo en un marco de trabajo que sintetizando lo pasado con lo presente y futuro de la organización, mediante la combinación de las 4 visiones planteadas (como punto referencial, aun cuando ya dijimos, pueden existir más o distintas perspectivas a las 4 mencionadas), permita tener una concepción amplia y cuasi completa de la misma, en relación con su entorno.

Sobre su aplicación, puede mencionarse de su empleo cada más creciente en el contexto mundial y concretamente en el latinoamericano, donde se le viene aplicando mediante el empleo de diversas tecnologías, existiendo igualmente redes especializadas en internet, dedicadas a la enseñanza y difusión del Balanced Scorecard.

Por otro lado, es igualmente relevante mencionar el enfoque sistémico que se la ha dado al BSC, en los trabajos realizados en el Instituto Andino de Sistemas – IAS de Lima - Perú, en donde haciendo empleo de una tecnología y metodología sistémica ad-hoc, se logró crear aplicaciones concretas en el sector educativo, financiero, gubernamental, productivo y no gubernamental, tanto en Perú, como en el contexto internacional.

Lo que sigue a continuación explica la concepción de una metodología sistémica para la elaboración y mantenimiento de un Cuadro de Mando Integral y Dinámico (Dynamic Balanced Scorecard) desarrollada por el autor en el IAS y que viene siendo aplicada tanto a nivel de enseñanza como a nivel de desarrollo de trabajos de consultoría tanto en el IAS como en CENTRUM Católica, cuya finalidad es apoyar su instrumentación en organizaciones de diverso tipo, sector, tamaño y entorno socio-político-económico y cultural.

3. La metodología sistémica para elaborar y mantener un Cuadro de Mando Integral (CMI) (Balanced Scorecard) - MSBSC – EM: Visión General

Como se ha visto en las secciones anteriores, el Balanced Scorecard conforme ha sido concebido por Kaplan y Norton, para el tratamiento de indicadores, toman como referencia datos que provienen de hechos que han ocurrido en una organización determinada y su entorno. Sin embargo, esta forma de trabajar el BSC no toma en consideración que debajo de esos hechos hay una estructura de variables y relaciones, entre ellas que hacen que dicha estructura tenga patrones de comportamiento que generan los hechos que se dejan ver a lo largo del tiempo.

Solo la visión de estructura y las relaciones causales que se dan entre los elementos de la estructura que plantea la Dinámica de Sistemas permite explicar la relación entre estructura y el comportamiento dinámico de las variables, tomando en cuenta la relación entre dichas variables. Considerando esta perspectiva es que se emprendió la presente investigación para la concepción de esta metodología que se presenta a continuación.

La Metodología Sistémica para Elaborar y Mantener un Cuadro de Mando Integral Dinámico (CMID) (Dynamic Balanced Scorecard), denominada con las siglas MSDBSC – EM, fue desarrollada por el autor, a través de un trabajo de investigación por la acción, desarrollado en el IAS durante el período 1998 – 2001. Dicha metodología fue concebida en versiones previas y a través de su empleo, se generó un proceso de aprendizaje, configurando la forma y los procesos (actividades) que presenta en la actualidad. Ha sido presentada en diversos congresos internacionales y se han dictado seminarios acerca de su empleo, de manera continua en Lima y otras ciudades de Latinoamérica. Igualmente se han desarrollado aplicaciones concretas, tanto a nivel investigativo

como a nivel de consultoría para organizaciones privadas, del gobierno y a nivel regional.

La figura No. 2 muestra el marco general de la MSBSC – EM, etapas que explicaremos someramente en las siguientes líneas de esta sección.

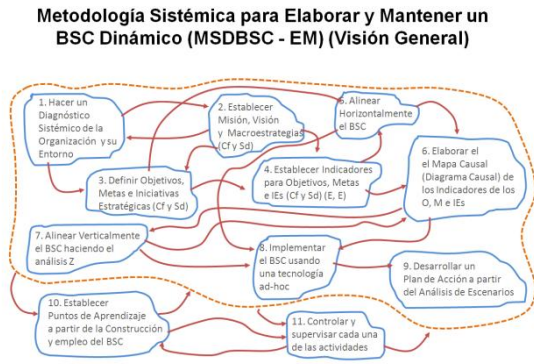


Figura No. 2: Metodología sistemática para elaborar y mantener un Cuadro de Mando Integral Dinámico (CMID) (Dynamic Balanced Scorecard) – MSDBSC – EM: Visión General (Rodríguez Ulloa, 2006).

Etapas No. 1. Hacer un diagnóstico sistémico de la organización y su entorno.

Esta etapa consiste en llevar a cabo un diagnóstico integral de la organización y su entorno. Para poder desarrollar esta etapa, es necesario visualizar la organización desde una perspectiva sistémica, para lo cual adoptamos visualizarla desde un modelo general para las organizaciones propuesto por el Prof. Brian Wilson (1984, 2000), modelo que nos permite ver la organización como aquella compuesta por cinco sistemas:

- Sistema de Enlace
Aquel sistema que enlaza las acciones que se desarrollan dentro de la organización con el entorno cercano y lejano.
- Sistema de Planeamiento
Aquel sistema que tiene por función hacer el planeamiento de todo lo que haga en la organización, ello implica que la labor de planeamiento abarque una relación con la organización como un todo.
- Sistema Proveedor de Recursos
Es el sistema que provee todo tipo de recursos a todos los sistemas de la organización.
- Sistema Operativo
Sistema que transforma las entradas (materia prima, requerimientos o pedidos de servicios) al sistema las salidas (productos o servicios) para ser entregados al entorno a través del sistema de enlace.
- Sistema de Control

Encargado de controlar todo lo necesario para que el sistema sea viable en el espacio y el tiempo, haciendo los ajustes del casos en cada uno de los sistemas a fin de que el sistema organizacional total cumpla con su razón de ser.

Considerando dichos sistemas indicados arriba, es posible llevar a cabo un diagnóstico de cada uno de ellos, determinando las fortalezas y debilidades existentes en los mismos. Para llevar a cabo dicho análisis se hace empleo de todas las técnicas, herramientas y tecnologías que sean necesarias y que permitan arribar a conclusiones sobre cómo se están desempeñando estos sistemas de la organización.

Obviamente que este diagnóstico no puede hacerse a espaldas del análisis y estudio del entorno y sus tendencias. En tal sentido, también es importante mencionar que en el enfoque adoptado, dividimos el entorno en Entorno Cercano y Entorno Lejano.

En el Entorno Cercano, se lleva a cabo un estudio de sus componentes:

- Proveedores
- Clientes
- Competidores
- Potenciales Proveedores
- Potenciales Clientes
- Potenciales Competidores

En el Entorno Lejano, se lleva a cabo un estudio de las diversas tendencias en diversos tópicos, tanto a nivel nacional como internacional, tomando, entre las principales, a las siguientes:

- Tendencias Sociales
- Tendencias Económicas
- Tendencias Políticas
- Tendencias Legales
- Tendencias Climáticas y del Medio Ambiente
- Tendencias Ideológicas
- Tendencias de las Creencias, Valores y Cultura
- Tendencias Tecnológicas

De un análisis de cómo se encuentran las condiciones en el Entorno Cercano y Lejano, combinado con lo que se encuentra en cada uno de los sistemas de la organización a nivel del entorno, se debe arribar a un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas).

Usualmente este trabajo debe hacerse en equipo, en donde hay que recabar información cualitativa y cuantitativa diversa, cuyo análisis debe ser hecho con paciencia y de manera relacional, a fin de ir armando un esquema concreto de cómo el entorno influye, positiva o negativamente, en la organización y de

cómo la organización logra adaptarse a dicho entorno, o por el contrario, tiene dificultades para ello.

Para poder complementar este estudio y llegar a cuantificaciones del análisis realizado, y a modo de buscar consenso en el equipo de trabajo, se elaboran también las matrices propuestas por el Prof. Fred David (1997, 2010): Matriz de Evaluación de Factores Internos (EFI), Matriz de Evaluación de Factores Externos (EFE) y Matriz de Perfil Competitivo (MPC).

La Matriz EFI nos da una idea de cómo encontramos la capacidad de la organización en cuanto a la prevalencia de sus fortalezas sobre sus debilidades o a la inversa.

La Matriz EFE nos da un idea de hasta qué punto la organización está preparada para poder aprovechar las oportunidades que el entorno presenta o de poder enfrentar las amenazas del mismo.

La MPC tiene por finalidad hacer un estudio comparativo de los factores críticos de éxito entre la organización bajo estudio y los competidores del sector en el cual ésta se desempeña. Brinda una idea clara del posicionamiento relativo de la organización respecto de sus competidores.

Al final, deberá saberse cuáles son las fortalezas y debilidades en el entorno de la organización y las oportunidades y amenazas existentes en el entorno de la misma, lo cual nos deberá indicar el nivel de viabilidad en el tiempo, que tendría la organización.

Etapas No. 2: Establecer la Misión, Visión y Macroestrategias Culturalmente Factibles (Cf) y Sistémicamente Deseables (Sd)

2.1 Misión y Visión

Esta etapa tiene por finalidad hacer, antes que nada, una auditoría de la misión y visión que tiene la organización a fin de analizar si posee una misión y visión de calidad o no, desde una perspectiva sistémica.

Desde nuestro punto de vista y a partir de la investigación que hemos realizado, y siguiendo los fines del pensamiento sistémico, consideramos que para que una misión y visión de la organización sean de calidad, deben cumplir con las 5 características que se indican a continuación:

a). Debe tener tres componentes:

Toda buena misión y visión debe tener tres componentes (Ulrich, 1983):

- Componente producto – mercado
- Componente de rendimiento
- Componente social (incluye lo ecológico)

En muchas ocasiones las organizaciones desarrollan su misión y visión solo considerando alguno de dichos componentes, siguiendo a Ulrich, consideramos que la misión y visión, para que sea de calidad, debe de contemplar los tres componentes a la vez.

b). Debe considerar, implícitamente o explícitamente a Clientes, Actores, Transformación, Weltanschauung, Dueños y Clima.

La misión y visión, en cuanto deben considerar los tres componentes indicados previamente, debe a su vez considerar en su redacción los siguientes elementos (Checkland, 1981; Checkland and Scholes, 1990; Checkland and Holwell, 1998; Checkland and Poulter, 2006).

- Clientes: las víctimas o beneficiarios del proceso de cambio que plantea llevar a cabo la organización a través de su misión.
- Actores: aquellos que llevan a cabo el proceso de transformación.
- Transformación: debe indicar claramente cuál es el proceso estratégico de transformación que pretende llevar a cabo la organización, al cumplir su misión.
- Weltanschauung: debe de considerar la base ideológica, de valores y creencias que sustenta el proceso de transformación de la organización.
- Dueños: debe exponer implícita o explícitamente quiénes son los dueños del proceso de transformación que pretende desarrollar la organización (v.gr. los suprasistemas).
- Entorno: en decir el clima interno y externo y las restricciones sobre las cuales se llevará a cabo el proceso de transformación que busca desarrollar la organización como misión.

c) Debe expresarse en términos epistemológicos, fenomenológicos, hermenéuticos y sistémicos.

Esto implica que la misión y visión de la organización deberá expresarse en términos de lo que “hace” el sistema organizacional y no en términos de lo que “es” dicho sistema organizacional. La descripción ontológica del mundo lo describe en términos de sus atributos o cualidades. Esta ha sido la forma usual como hemos aprendido a describir el mundo real, en términos ontológicos; sin embargo, la descripción epistemológica de un ente abstracto o concreto existente en el mundo real, en vez de describirlo por sus atributos, lo hace por lo que está

supuestamente haciendo dicho ente en un momento determinado en el espacio y tiempo. Así, el mismo ente podría ser descrito epistemológicamente en función de sus distintos roles o funciones que podría desempeñar en vez de describirlo por solo sus atributos (descripción ontológica).

En el caso de una organización, entonces la misión y visión tendrían que ser elaboradas como descripciones epistemológicas, en vez de descripciones ontológicas de la misma. Así, la misión deberá describir la razón de ser de la organización, expresada en un verbo calificado y la visión no será otra cosa que la explicación detallada de los logros que se han conseguido, expresados en acciones, acerca del cumplimiento de la misión en un espacio – tiempo determinados.

d) Debe plantear un proceso suma no cero para los clientes, actores y dueños de la situación problemática en la cual la organización está inmersa.

El reto del pensamiento estratégico del Siglo XXI es el planteamiento de misiones y visiones organizacionales que planteen como razón de ser de la organización, la ejecución de procesos de cambio y transformación orientados a la creación de procesos suma no cero. Los procesos suma no cero, lo contrario a los procesos suma cero, tienen por finalidad el concebir “juegos” en los cuales, los involucrados, directa e indirectamente, ganen en el proceso, en el presente y en el futuro también. Así, si consideramos que en todo proceso de cambio tenemos a clientes, actores y dueños de la situación problemática, la idea es cómo concebir misiones y visiones en las cuales tanto los clientes, como los actores y dueños del proceso de cambio, ganen, en términos materiales y en términos cualitativos también.

e) Debe ser culturalmente factible y sistémicamente deseable.

Como último requisito se requerirá que la misión sea planteada desde una visión compartida entre los clientes, actores y dueños de la situación problemática y que además se cuenten con los recursos para que en el tiempo se logre caminar en el sendero planteado por la misión y que permitan alcanzar las visiones de la misma.

Solo considerando las 5 características descritas en esta sección, creemos que las organizaciones serán capaces de construir misiones y visiones de calidad.

2.2 Macroestrategias

Para la obtención de las macroestrategias de la organización, hacemos empleo de la matriz AODF propuesta por el Prof. Fred David (1997, 2010), para lo cual previamente debemos tener el Análisis FODA de la organización.

La matriz AODF sirve para poder establecer el universo de estrategias que podríamos elaborar, a partir de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas existentes en una organización dada. Así, podemos obtener 4 cuadrantes, a saber:

- Cuadrante No. 1: Estrategias Fortalezas - Oportunidades (EFO)
- Cuadrante No. 2: Estrategias Fortalezas – Amenazas (EFA)
- Cuadrante No. 3: Estrategias Debilidades – Oportunidades (EDO)
- Cuadrante No. 4: Estrategias Debilidades – Amenazas (EDA)

Las estrategias que se formulan en cada cuadrante, vienen a ser arreglos lingüísticos en los que se combinan las fortalezas o debilidades con las oportunidades y amenazas existentes. La cantidad de estrategias que pueden generarse son muchas, constituyéndose en el universo de estrategias generales de la organización.

De ese universo debe ser posible establecer, haciendo un análisis de viabilidad, el conjunto de estrategias que podrían ser culturalmente factibles y sistémicamente deseables a desarrollar por la organización. Para evaluar su viabilidad, es necesario revisar el diagnóstico realizado en la Etapa No. 1 de esta metodología.

Etapa No. 3: Establecer objetivos, metas e iniciativas estratégicas Culturalmente Factibles (Cf) y Sistémicamente Deseables (Sd)

El establecimiento de objetivos, metas e iniciativas estratégicas culturalmente factibles y sistémicamente deseables es una consecuencia de la etapa anterior.

3.1 Objetivos Generales de la Organización (Cf y Sd)

A fin de ser coherentes en el proceso metodológico, es menester acotar que los Objetivos de la organización se deben obtener de la Misión de la misma. Así, en la etapa No. 2 se dijo que toda Misión debería tener tres componentes (Ulrich, 1983):

- Componente Producto – Mercado
- Componente de Rendimiento

- Componente Social (Incluye lo ecológico)

Pues bien, los objetivos que derivamos de la misión van en esa línea de descomposición, es decir, de la Misión derivamos Objetivos de la Organización, considerando objetivos para cada uno de los tres componentes de la misma, de manera que se tendrá, entonces:

- Objetivos Producto – Mercado
- Objetivos de Rendimiento
- Objetivos Sociales (incluye lo ecológico)

Se recomienda que los objetivos generales de la organización no pasen de 9 a 12 objetivos (como mucho 4 objetivos por cada componente).

Es a partir de este punto en donde el enfoque que aquí se expone, se relaciona con el trabajo de los profesores Kaplan y Norton. Lo que hacemos para proceder a ello es reacomodar los objetivos establecidos para los tres componentes (producto – mercado, rendimiento y social) y los reubicamos, siguiendo el esquema planteado por los profesores Kaplan y Norton de las cuatro perspectivas: Financiera, Clientes, Procesos Internos y Crecimiento – Desarrollo; es decir, a partir de los objetivos de Rendimiento ubicamos a los Objetivos Financieros y de Procesos Internos, a partir de los objetivos Producto – Mercado ubicamos a los Objetivos de Clientes y a partir de los Objetivos Sociales y de Rendimiento ubicamos a los Objetivos de Crecimiento y Desarrollo; obteniéndose así una visión de los objetivos bajo las cuatro perspectivas de Kaplan y Norton (1996, 2001, 2004).

Por otro lado, habrá que evaluar nuevamente la viabilidad de los objetivos planteados, es decir, habrá que chequear si cada uno de los objetivos establecidos son culturalmente factibles (¿todos los involucrados en la situación los aceptan?) y sistémicamente deseables (¿existe el clima interno y externo para llevarlos a cabo y además se cuentan con los recursos para lograrlos?).

Todo ello debe llevar a una matriz, en donde para cada perspectiva (financiera, clientes, procesos internos y crecimiento – desarrollo), se deberá considerar los Objetivos, sus metas (en términos de eficacia, eficiencia y efectividad) y las iniciativas estratégicas y sus metas (en términos de eficacia, eficiencia y efectividad), como se detalla a continuación.

3.2 Metas de la Organización (Cf y Sd)

Las metas de la organización no son otra cosa que la cuantificación de los objetivos, referidos a un espacio-tiempo determinados.

Pueden existir varias metas para el logro de un objetivo y además las metas podrán ser metas en lo relativo a la eficacia, eficiencia o efectividad. La eficacia está referida al cumplimiento de los objetivos. La eficiencia está referida al empleo óptimo de los recursos. Tanto la eficacia como la eficiencia solamente son analizadas después de que el proceso estratégico se ha llevado a cabo (ex-post), y la efectividad está referida a “hacer lo que se debería estar haciendo, con el óptimo empleo de los recursos”, es decir es una combinación de ambas, pero se estudia mientras se lleva a cabo el proceso estratégico (evaluación ex - ante)

Nuevamente, bajo la presente metodología, se requiere que las metas sean culturalmente factibles y sistémicamente deseables (Cfs y Sds).

3.3 Iniciativas Estratégicas

Las iniciativas estratégicas que se consideran en esta etapa son aquellas que han sido seleccionadas como Cfs y Sds de la Etapa No. 2 de la presente metodología, a partir de la matriz AODF. La idea es que teniendo un universo de estrategias Cfs y Sds, se tomen aquellas que calcen con las metas y los objetivos estratégicos considerados en esta etapa. Esto deberá ser posible, en cuanto las estrategias han salido del análisis FODA y la misión y visión están emergiendo, a partir del diagnóstico sistémico, como que son Cfs y Sds, también.

Es necesario establecer para cada una de las iniciativas estratégicas, sus metas de cumplimiento, en términos de eficacia, eficiencia y efectividad, al igual que las metas establecidas para los objetivos.

Etapa No. 4: Establecer los Indicadores de Eficacia, Eficiencia y Efectividad para el Cumplimiento de los Objetivos, Metas e Iniciativas Estratégicas Culturalmente Factibles y Sistémicamente Deseables.

Lograda la Etapa No. 3, la presente etapa no es sino la continuación de la matriz lograda en la etapa anterior, en donde se tendrán, para las 4 perspectivas de Kaplan y Norton (1996, 2001, 2004), los objetivos, los indicadores (de eficacia, eficiencia y efectividad), las metas (para cada tipo de indicador), las iniciativas estratégicas, los indicadores de las iniciativas estratégicas (en términos de eficacia, eficiencia y efectividad) y sus metas respectivas. Los indicadores pueden ser de índole cuantitativos o cualitativos.

Esta etapa es una de las más importantes en el desarrollo de un Cuadro de Mando Integral Dinámico, pues se requiere usar mucha creatividad e imaginación para elaborar los indicadores. Un punto importante que es necesario recalcar es en lo referente a las metas. Usualmente no se tiene una idea clara de las metas a cumplir, lo cual estará indicando que no existe un conocimiento adecuado de la organización y su manejo. En este sentido, la presente metodología y el empleo del concepto de Cuadro de Mando Integral Dinámico (CMID) (Dynamic Balanced Scorecard) debe verse desde la perspectiva de lo que se denomina aprendizaje organizacional. Desde esta perspectiva vemos a la MSDBSC – EM como una herramienta intelectual para el aprendizaje organizacional, en donde en cada iteración se mejoran diversos aspectos que tienen que ver con la conducción estratégica de la organización.

Etapa No. 5: Alinear horizontalmente el BSC

Esta etapa consiste en revisar la matriz elaborada en la etapa anterior y examinar que en términos de relación lógica entre objetivos, indicadores (de eficacia, eficiencia, efectividad), metas (de eficacia, eficiencia y efectividad) que miden los resultados, y las iniciativas estratégicas, sus indicadores (de eficacia, eficiencia, efectividad) y sus metas (de eficacia, eficiencia y efectividad) que miden el grado de contribución de las estrategias al logro de los objetivos, entre todos ellos exista una relación lógica coherente.

Igualmente, es importante en esta etapa re-examinar la factibilidad cultural y la deseabilidad sistémica de los diversos elementos de la matriz.

Etapa No. 6: Construir el Mapa Causal del DBSC, mediante el empleo de Diagramas Causales

Habiendo logrado un alineamiento horizontal, el siguiente paso es desarrollar el mapa causal que permita la interrelación de los distintos indicadores (según cada perspectiva), de una manera lógico-causal.

Aquí la herramienta conceptual utilizada es la Dinámica de Sistemas y tomando como referencia la matriz elaborada en la Etapa No. 5, lo que se hace en esta etapa es tomar los diversos indicadores de resultados y de las iniciativas estratégicas y poniéndolos todos juntos, empezar a visualizar el tipo de relaciones causales existentes entre todos ellos. El resultado final será un diagrama causal, sobre el cual podremos mapear las cuatro perspectivas del enfoque de Kaplan u otras perspectivas que se puedan dar a partir de la misión y visión de la organización. Sin

embargo, habremos logrado un diagrama causal que explica por sí mismo la forma como deben interactuar los indicadores a fin de lograr el cumplimiento de los objetivos de la organización y por ende la misión y visión de la misma.

Resulta de gran importancia estudiar concienzudamente las relaciones causales que se generan y posiblemente se generen correcciones y ajustes entre las variables encontradas en la Etapa No. 6 y las variables existentes en la Etapas No. 5. y No. 4. Es importante establecer un balance entre dichas etapas y la coherencia en las relaciones causales que se deben obtener en esta etapa. Estamos suponiendo que el lector conoce la Dinámica de Sistemas y sabe en qué consiste un diagrama causal y cómo desarrollarlo.

Etapa No. 7: Alinear verticalmente el DBSC haciendo el Análisis Z

Conseguido el mapa causal en la etapa anterior, dicho mapa sirve para poder hacer lo que se denomina un alineamiento vertical desde el análisis Z (Olve, et. al, 2000), esto es, debe haber una secuencia causal de variables pertenecientes a la perspectiva de Crecimiento y Desarrollo, los cuales potencian a los indicadores de Procesos Internos, los que a su vez deben apalancar a los indicadores de la perspectiva de Clientes y ellos a su vez lo deben hacer con los indicadores Financieros. La Fig. No. 3 explica lo que plantea el análisis Z.

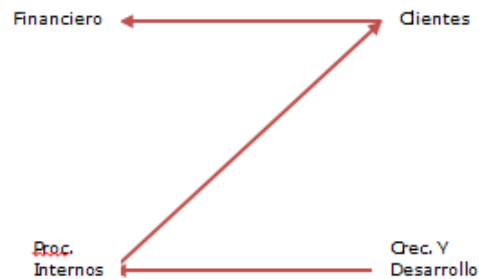


Fig. No. 3. El Análisis Z: Coherencia del Mapa Causal

En ese sentido, esta etapa tiene por objetivo ver si existe este tipo de coherencia lógica entre las relaciones causales obtenidas en el mapa causal. Ello requerirá hacer ajustes entre la Etapa No. 6 y esta etapa, hasta encontrar un punto que permita efectivamente el criterio Z se cumpla en un gran porcentaje.

Etapa No. 8: Implementar el Cuadro de Mando Integral y Dinámico (Dynamic Balanced Scorecard (DBSC)) utilizando un Tecnología Ad-Hoc

Existen diversas tecnologías para instrumentar el Cuadro de Mando Integral (Balanced Scorecard). Desde las hojas electrónicas de cálculo, que pueden servir para desarrollar Cuadros de Mando simples (software de 1ra. generación), pasando por softwares de extensión a softwares de administración de bases de datos existentes en el mercado. Dichos softwares de extensión permiten manipular las bases de datos de las organizaciones y lograr conseguir los valores de los indicadores con simples operaciones matemáticas, a partir de la combinación de datos, mas no de relaciones causales entre los indicadores, siendo más difícil ello, cuanto se trata de manipular y establecer las relaciones entre variables cualitativas y cuantitativas. Dichos softwares son conocidos como softwares de 2da. Generación para la elaboración de Cuadros de Mando Integrales. Su ventaja principal radica en la posibilidad de desarrollar Cuadros de Mando escalables a nivel jerárquico e interconectados entre sí, lo cual permite tener una idea de jerarquía entre los distintos Balanced Scorecards elaborados (v.gr. el Balanced Scorecard general y aquellos elaborados para las diversas áreas de la organización). Esta facilidad es posible debido a que el software funciona sobre la base de datos de la organización. Sin embargo, tienen la desventaja de no relacionar causalmente las variables (indicadores) que se están manipulando, dependiendo la lógica de su manejo, de la capacidad de abstracción causal que tengan los constructores de los Cuadros de Mando Integrales que se estén elaborando.

Un enfoque completamente distinto es aquel que nace con el empleo de lenguajes y paradigmas de simulación de procesos, que es lo que la Dinámica de Sistemas permite. La tecnología utilizada en esta opción se les denomina softwares de 3ra. Generación y permiten obtener lo que se denomina Cuadros de Mando Integrales Dinámicos (CMID), o en Inglés, Dynamic Balanced Scorecards. Existen diversos lenguajes de simulación para desarrollar CMID, tales como Stella, Ithink, Powersim, Vensim.

En esta oportunidad hemos usado Stella / Ithink, como herramienta de software, pero lo importante que hay que recalcar es que la MSDBSC – EM, es una metodología orientada básicamente a emplear software de 3ra. Generación para la elaboración y mantenimiento de los CMIs, convirtiéndose en CMI Dinámicos.

Etapas No. 9: Desarrollar un Plan de Acción a partir del Análisis de Escenarios

El empleo del Dynamic Balanced Scorecard, una vez desarrollado, calibrado y validado en la etapa anterior debe permitir analizar diversos escenarios, dado que

es posible modificar los valores de variables clave, correspondientes a las diversas perspectivas y sobre esa base especular diversos cursos de acción presentes y futuros de la organización. Esta capacidad implica en esta metodología la posibilidad de aprender sobre el funcionamiento y la operatividad de la organización a través del estudio del comportamiento de diversos indicadores, a partir de cambios inducidos en algunas variables de interés.

Luego de amplios estudios de análisis de escenarios, los cuales deben ser discutidos a nivel de ejecutivos de la organización, será posible delinear un plan de acción, el mismo que debe de establecer qué decisiones y qué acciones en consecuencia habría que desarrollar, período a período, para que la organización se oriente hacia el crecimiento y desarrollo.

El plan de acción explícitamente establecido debe definir, así mismo, responsables de cada una de las acciones que conlleven a la ejecución de las decisiones que el análisis de escenarios recomienda. Se entiende además que dichas acciones y decisiones han de ser Culturalmente Factibles (Cf) y Sistémicamente Deseables (Sd).

Como puede verse en la Fig. No. 2, las etapas desde la Etapa No. 1 hasta la Etapa No. 9 están englobadas y afectadas por las Etapas No. 10 y No. 11 que se explican a continuación.

Etapas No 10: Establecer Puntos de Aprendizaje a Partir de la Construcción y Empleo del Dynamic Balanced Scorecard

Considerando todas las Etapas desde la No. 1 hasta la No. 9, la idea es considerar a todo este proceso como un medio de aprendizaje en la dirección estratégica de la organización, pensando que el presente es un marco metodológico que puede aplicarse en términos iterativos.

En ese sentido, la MSDBSC – EM está orientada a ser un medio para el aprendizaje organizacional, tanto a partir de su construcción (Etapas No. 1 a No. 8), como también de su uso (Etapa No. 9). De todas y cada una de las etapas previas se puede aprender en cada iteración. La presente etapa consiste en ir armando la memoria colectiva de la organización, con la finalidad de registrar los diversos “errores” cometidos por la organización, las formas como dichos errores fueron enfrentados y las “soluciones” que se dieron en cada ocasión.

Dichas “soluciones” deberán ser la base de la creación de un cuerpo de conocimientos (v.gr. buenas

prácticas) que ha de servir para mejorar el desarrollo de cada una de las Etapas No. 1 al 9, en las siguientes iteraciones, en la búsqueda de establecer lo que Peter Senge denomina como Organización Inteligente.

Etapa No. 11: Controlar y Supervisar cada una de las actividades.

Esta etapa se nutre de la Etapa No. 10 y también recoge información de todas las demás Etapas (No. 1 – No. 9).

La finalidad de esta etapa es la de supervisar y controlar que la ejecución de cada una de las etapas de la MSDBSC – EM se desarrolle correctamente. Es de esperar que bajo un manejo iterativo de la metodología, en la cual cada una de las etapas está siendo permanentemente supervisadas y controlada, se obtenga una conducción estratégica superior en las organizaciones en donde este marco de trabajo se aplique.

4. Aplicaciones: el caso Tubos S.A.

Con la finalidad de explicar su empleo, se aplicó la MSDBSC – EM en el desarrollo de un simulador de vuelo (flight simulator) que ayude al proceso de aprendizaje en la dirección estratégica de ejecutivos latinoamericanos. En tal sentido se tomó un caso elaborado por el autor hace algunos años (Rodríguez Ulloa, 1994), basado en la problemática de una empresa real peruana, ligada con el sector de comercialización de planchas de acero. El propósito fue ver hasta qué punto la metodología servía para analizar una situación concreta y se llegaban a conclusiones concretas sobre dicha problemática.

Por razones de brevedad, no se muestra aquí el desarrollo de todas las etapas de la MSDBSC - EM, mas sí algunos resultados obtenidos en algunas de ellas. Así en las Fig. No. 4 y 5 se muestran los formularios que sirven para iniciar el Diagnóstico de la Organización desde la perspectiva sistémica.

Análisis FODA		
Fortalezas y Debilidades		
Fortalezas	Descripción	Justificación
Debilidades	Descripción	Justificación

Fig. No. 4: Formulario para el estudio de las fortalezas y debilidades de la organización (MSBSC – EM)

Análisis FODA		
Oportunidades y Amenazas		
Oportunidades	Descripción	Justificación
Amenazas	Descripción	Justificación

Fig. No. 5: Formulario para el diagnóstico de las oportunidades y amenazas (MSBSC – EM)

Las Fig. 6, 7, 8, 9 y 10 surgieron como producto de los ejercicios desarrollados por un grupo de participantes del Seminario sobre el tema, realizado en la Universidad de Lima, en el año 2002, sobre Tubos S.A, dictado por el autor.

En la Fig. 6 se puede apreciar cómo podemos llevar a cabo un diagnóstico sistémico de una organización, considerando el modelo general organización, propuesto por el profesor Brian Wilson (1984, 2000) y agregando a ello los conceptos de entorno cercano y lejano. El estudio puede profundizarse más aún, sin embargo por razones de brevedad no se muestran los diversos hallazgos cuantitativos y cualitativos que sustentan este cuadro.

En la Fig. 7 se muestra un cuadro de análisis, realizado por los mismos participantes, que analiza las características de toda misión, tomando una misión determinada como ejemplo. Puede verse cómo es posible considerar los distintos factores considerados como básicos para determinar una misión de calidad.

La Fig. 8 muestra en primer lugar cómo se puede derivar desde la misión a la visión de la organización. En segundo lugar muestra cómo, a partir de la misión se pueden encontrar los objetivos producto – mercado, de rendimiento y sociales, que son la base para que a partir de allí se obtengan los objetivos considerando las cuatro perspectivas de Kaplan y Norton.

La Fig. 9 muestra un ejemplo de empleo de la matriz AODF, para obtener un conjunto de estrategias que, filtrando su viabilidad, un grupo de ellas llegan a ser, finalmente, culturalmente factibles y sistémicamente deseables.

La Fig. 10 muestra un cuadro que considera las 4 perspectivas, los objetivos las metas y las iniciativas estratégicas, lo cual es elaborado en la Etapa No. 3 de la MSDBSC – EM.

Visualización de TUBOS S.A. desde una perspectiva sistémica

	Sistema Operativo	Sistema Proveedor de Recursos	Sistema de Enlace	Sistema de Control	Sistema de Planeamiento
Fortalezas	Equipo de Ventas Estrella	Ejecutores de buen nivel	Empresa Líder		
Debilidades	Procesos informales Difícil de operar Alta Dirección continuamente interviene en la operación diaria	Experiencia de los socios No hay un buen diseño de procesos Comunicación informal	Muy buenas relaciones	Competencia por el poder Difícil avanzar para trabajo en conjunto	Las Operaciones de línea no participan de decisiones estratégicas La planificación está centralizada en una sola persona

Entorno	
Cercano	Lejano
Transacciones con dólares MUC	Cambio de gobierno
Buenas relaciones públicas	Estabilidad económica
Experiencia en el sector	
Cafeteras de Clientes	
Oportunidades	
Infación	Recesión de la industria
Escarce de divisas	Entorno hostil
Restricción del crédito	Alta competencia
Amenazas	
Falta de consistencia en dispositivos gubernamentales	

Fig. No. 6: Análisis de FODA de la organización y su entorno basado en un Modelo General de la Organización (Wilson, 1984, 2000). (Elaborado por grupo de participantes durante el Seminario sobre Balanced Scorecard, Universidad de Lima, agosto 2002, Lima - Perú)

Misión	Medio 1	Medio 2 (Optimo)
Objetivos	<p>Producto Mercado: ¿Qué producir y con qué tecnología?</p> <p>Beneficiarios: ¿Cómo ser viable?</p> <p>Socios: ¿En qué entorno social se enmarca?</p> <p>Proceso interno de venta: ¿Cómo hacer procesos en el que todos ganan?</p> <p>Culturales y hábitos: ¿Qué valores y beneficios del proceso de transformación?</p> <p>Cf y Sd: ¿Qué recursos humanos, tecnológicos, financieros?</p> <p>Recursos Humanos: ¿Suficiente y en buenas manos?</p> <p>Recursos Tecnológicos: ¿Experiencia y conocimiento del mercado?</p> <p>Recursos Financieros: ¿Experiencia y conocimiento del mercado?</p>	<p>Identificar los recursos humanos, tecnológicos, productivos, organizativos que aseguran los objetivos de calidad de nuestro negocio.</p> <p>Adaptar las mejores prácticas operativas que nos permitan competir en el mercado nacional y aprovechar las mejores prácticas de nuestra industria.</p> <p>Cumplir con las obligaciones que le sociedad demanda de nosotros, manteniendo un desarrollo integral.</p> <p>Aplicar en nuestro proceso y productos la Calidad Total que es un deber de los asociados, e de un sistema de Gestión Ambiental para prevenir o minimizar el daño a la sociedad. Aplicar la mejora continua como cultura.</p> <p>Personal involucrado, cliente satisfecho, incremento del bienestar económico nacional, medio ambiente no sufre.</p> <p>Empresa líder en su campo.</p> <p>Socios con compromiso, clientes con necesidades primarias.</p> <p>Mejora del personal es calificada o se puede personal certificado, competente e integrado.</p> <p>Se maneja suficiente stock para abastecer al mercado.</p> <p>Se maneja suficiente stock para abastecer el mercado.</p> <p>Personal competente, habil y motivado.</p> <p>Adaptación de los sistemas de información.</p> <p>Utilizando tecnología de punta donde sea factible.</p> <p>Suficiente y en buenas manos.</p> <p>Experiencia y conocimiento del mercado.</p>

Visión
Hemos logrado mantener nuestro liderazgo en la comercialización de material siderúrgico, alcanzando niveles de eficiencia suficientes para competir en un mercado altamente cambiante y competitivo contribuyendo al desarrollo del sector productivo nacional.

Fig. No. 7: Análisis de las características básicas de una Misión de Calidad (MSDBSC – EM) (Elaborado por grupo de participantes durante el Seminario sobre Balanced Scorecard, Universidad de Lima, Agosto 2002, Lima - Perú)

Misión	Visión
Objetivos del BSC (Kaplan)	
Comercializar material siderúrgico nacional e importado al mercado nacional, adoptando las mejores prácticas operativas que nos permitan agregar valor a la organización y a nuestros clientes mediante la mejora continua de nuestros procesos, tratando de ab	Hemos logrado mantener nuestro liderazgo en la comercialización de material siderúrgico, alcanzando niveles de eficiencia suficientes para competir en un mercado altamente cambiante y competitivo contribuyendo al desarrollo del sector productivo nacional.
Objetivos Financieros	Minimizar costos, ser rentable, incrementar las ventas
Objetivos a nivel cliente	Nivel de satisfacción, participación de mercado, incremento de nuevos clientes, plazos de entrega
Objetivos de procesos internos	Minimizar tiempo del ciclo de producción efectivo, Controlar la calidad del producto y el medio ambiente, procedimientos formales
Objetivos de crecimiento y desarrollo	Satisfacción del personal, ratio de retención, adecuación de los sistemas de información. Personal competente, habil y motivado.

Fig. No. 8: Ejemplo de Derivación de la Visión a partir de la Misión y obtención de Objetivos a partir de la Misión (Elaborado por grupo de participantes durante el Seminario sobre Balanced Scorecard,

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
Matriz AODF	<p>F₁ Líder en el mercado nacional</p> <p>F₂ Relaciones Comerciales de los Socios</p> <p>F₃ Núcleo de vendedores estrella</p> <p>F₄ Ejecutivos calificados</p>	<p>D₁ Organización Informal</p> <p>D₂ Pugna interna por el poder</p> <p>D₃ Gerentes no participan de las decisiones estratégicas</p> <p>D₄ Planificación centralizada en un socio</p> <p>D₅ Alta dirección interviene en la operación</p> <p>D₆ Sistema de información inadecuado</p> <p>D₇ Clima organizacional inadecuado</p>
Oportunidades	<p>O₁ Óptimas relaciones públicas</p> <p>O₂ Transacciones con dólares MUC</p> <p>O₃ Cartera de clientes</p> <p>O₄ Experiencia en el sector</p> <p>O₅ Formalizar la organización</p>	<p>1er. Cuadrante FD</p> <p>2do. Cuadrante DD</p>
Amenazas	<p>A₁ Entorno hostil de alta competencia</p> <p>A₂ Recesión en los sectores objetivo</p> <p>A₃ Inconsistencia en dispositivos gubernamentales</p> <p>A₄ Escasez de divisas para importaciones</p> <p>A₅ Incremento en el precio de productos importados</p>	<p>3er. Cuadrante FA</p> <p>4to. Cuadrante DA</p>

Fig. No. 9: Ejemplo de Matriz AODF (David, 1997) (Elaborado por grupo de participantes durante el Seminario sobre Balanced Scorecard, Universidad de Lima, agosto 2002)

	Objetivos	Metas	Iniciativas Estratégicas
Financiera	<p>Minimizar costos</p> <p>Se rentable</p> <p>Incrementar ingresos por ventas</p>	<p>Costos administrativos = 20% de las ventas</p> <p>Utilidades = 35% de las ventas</p> <p>Incremento de ventas = 35%</p>	<p>D_{1A} Formalizar la organización para poder competir en un entorno hostil de alta competencia. Diseño EO, MOF, MDP, MPP e implantación.</p> <p>F_{1A} Establecer las relaciones comerciales de los socios para ampliar horizontes de negocios</p> <p>F_{2A} Explicar las relaciones comerciales de los socios para ampliar horizontes de negocios</p>
A nivel cliente	<p>Satisfacer al cliente</p> <p>Participación de mercado</p> <p>Presente de nuevos clientes</p> <p>Plazos de entrega</p>	<p>mejora a 85%</p> <p>mejora a 20%</p> <p>mejora a 30%</p> <p>menor a 10 días</p>	<p>F_{1C} Mantener el liderazgo en el mercado nacional explotando las óptimas relaciones públicas</p> <p>F_{2C} Mantener el liderazgo en el mercado nacional explotando las óptimas relaciones públicas</p> <p>F_{3C} Incrementar la cartera de clientes explotando las relaciones comerciales de los socios</p> <p>D_{1A} Formalizar la organización para poder competir en un entorno hostil de alta competencia. Diseño EO, MOF, MDP, MPP e implantación.</p>
Procesos internos	<p>Óptimo sistema de Información</p> <p>Controlar la calidad del producto y el medio ambiente</p>	<p>6 meses</p> <p>5% defectuosos. ISO 9000, ISO 14000</p>	<p>D_{2C} Desarrollar e implementar un óptimo sistema de información para la formalización organizacional</p> <p>D_{3C} Formalizar la organización para poder competir en un entorno hostil de alta competencia. Diseño EO, MOF, MDP, MPP e implantación.</p>
Crecimiento y desarrollo	<p>Mantener la satisfacción del personal</p> <p>Mantener la rotación del personal</p> <p>Personal competente, habil y motivado</p> <p>Adaptación de los sistemas de información</p>	<p>mejora a 85%</p> <p>menor a igual a 7%</p> <p>100 % del personal. Compromiso de especificaciones puntuales</p>	<p>D_{1C} Crear un clima organizacional óptimo durante la formalización organizacional</p> <p>F_{1A} Desarrollar gubernamentalmente el núcleo de vendedores estrella para competir con éxito en el entorno hostil</p> <p>D_{2C} Crear un clima organizacional óptimo para establecer e formalizar la organización</p> <p>F_{2C} Formalizar la organización para poder competir en un entorno hostil de alta competencia. Diseño EO, MOF, MDP, MPP e implantación.</p>

Fig. 10: Perspectivas, Objetivos, Metas e Iniciativas Estratégicas (Cf y Sd) (Etapa No. 3 de la MSDBSC – EM) (Elaborado por grupo de participantes durante el Seminario sobre Balanced Scorecard, Universidad de Lima, agosto 2002)

La Figura No. 11 muestra, a manera de ejemplo, el diagrama causal de algunas variables del caso Tubos S.A., que explican cómo se dan las relaciones causales entre los indicadores planteados en la Etapa 4 de la presente metodología y además, cómo es posible mapear dichas variables (indicadores) en las perspectivas que plantea el enfoque del Balanced Scorecard. En el ejemplo se muestra el mapeo de las variables en tres de las cuatro perspectivas que se han planteado para el estudio del caso Tubos S.A. Estas perspectivas son: Perspectiva de Clientes, Perspectiva de Procesos Internos y Perspectiva Financiera. No se muestra la Perspectiva de Crecimiento y Desarrollo para hacer más comprensible al lector esta forma de trabajo que plantea la presente metodología

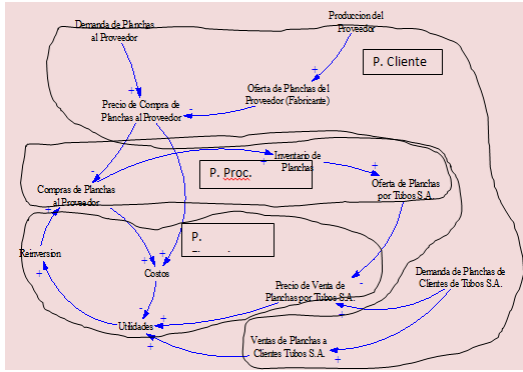


Fig. 11: Ejemplo de mapeo de 3 perspectivas del Balanced Scorecard de algunos indicadores relacionados causalmente (Etapa 4)

La Figura No. 12 muestra el diagrama causal completo y el mapeo de las cuatro perspectivas del Balanced Scorecard, según el conjunto de indicadores desarrollados en la Etapa No. 4 de la MSDBSC – EM, los mismos que luego de haber sido alineados en términos horizontales (Etapa No. 5), son utilizados para conformar el mapa causal (Etapa No. 6), aplicando el concepto de diagrama causal, de la Dinámica de Sistemas.

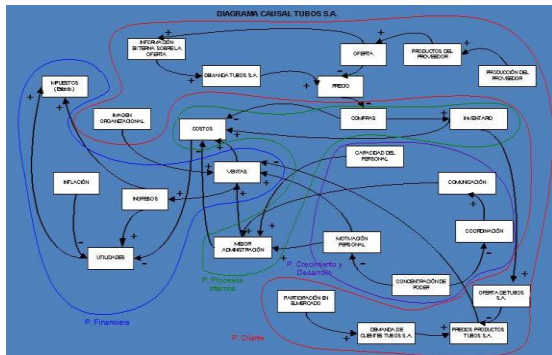


Fig. No. 12: Diagrama Causal de Tubos S.A. y el Mapeo de las 4 Perspectivas de Kaplan y Norton (1996, 2001)

Las Figs. De la 13 a la 22 muestran las pantallas del Dynamic Balanced Scorecard desarrollado para Tubos S.A, utilizando Stella / Ithink.

Como se podrá ver en las siguientes figuras, habiendo hecho el mapeo de variables causales en la Etapa 6, y habiendo alineado verticalmente dichas variables (Etapa 7), se lleva a cabo la Etapa 8 de la Metodología, la misma que consiste en elaborar el DBSC utilizando una tecnología ad-hoc. En este caso se ha utilizado el software Stella / Ithink, el mismo que permite elaborar pantallas amigables al usuario final, para que el manejo del Dynamic Balanced Scorecard sea fácil a personas que no necesariamente conocen la Dinámica de Sistemas.

Así, en la Figura No. 13 se muestra la pantalla de ingreso al Dynamic Balanced Scorecard (DBSC) de Tubos S.A. y clicleando en “ingresar” es posible entrar al Diagrama de Contexto del DBSC. (Figura No. 14). Para salir del ambiente del DBSC simplemente hay que cliclear en “finalizar”.

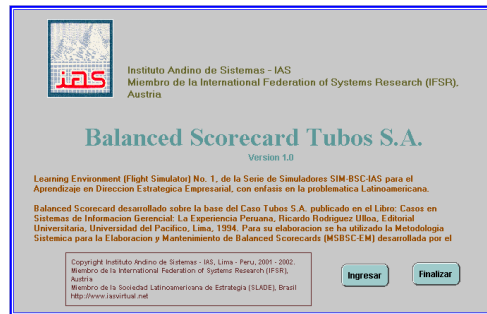


Fig. No. 13: Pantalla de entrada al Ambiente de Trabajo del DBSC de Tubos S.A

En la Figura No. 14 se muestra el Diagrama de Contexto del DBSC de Tubos S.A. Como puede apreciarse, en este diagrama se ven las cuatro perspectivas del Balanced Scorecard. Cada perspectiva constituye un módulo del DBSC. Es posible ingresar a cada módulo si el usuario final clikea en el botón respectivo de cada perspectiva, como se aprecia en esta figura. También es importante notar las relaciones causales que muestra el Diagrama de Contexto elaborado en Stella / Ithink, que indican a nivel panorámico las relaciones causales que en este caso se dan entre las diversas perspectivas, de acuerdo a la forma como se ha elaborado el causal (Etapa 6). Es importante acotar que el número de perspectivas puede variar en función de cómo se elabora la misión y visión de la organización bajo estudio.

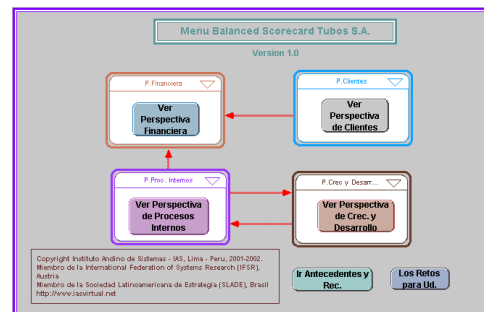


Fig. No. 14: Pantalla que muestra las cuatro perspectivas de Kaplan y Norton, para Tubos S.A.

La Figura No. 15 muestra el Cuadro de Mando de la Perspectiva Financiera de Tubos S.A. Stella permite construir este tipo de interfase, detrás de la cual se encuentran las relaciones causales de las variables correspondientes a la Perspectiva Financiera, que

fueron mapeadas en la Etapa 6 de la presente metodología. Mediante esta interfase es posible que el usuario final pueda hacer análisis de sensibilidad de las variables correspondientes a la perspectiva financiera y “aprenda” a manejar las finanzas de Tubos S.A. en este ambiente de aprendizaje creado, usando Stella / Ithink. Así es posible, por ejemplo, cambiar el precio de venta de las planchas que Tubos S.A. distribuye y ver el impacto en las utilidades de la empresa, o ver qué pasaría si el costo unitario de compra de las planchas al proveedor sube o baja y cuál sería el impacto también en las utilidades, considerando un tendencia en las compras, de acuerdo a la demanda del mercado.

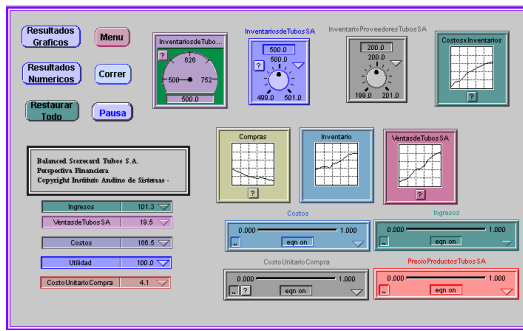


Fig. No. 15: Cuadro de Mando de Tubos S.A.: Perspectiva Financiera

La Figura No. 16 muestra la Perspectiva de Clientes de Tubos S.A. Igualmente en esta perspectiva considera solo aquellas variables y sus relaciones causales que en el mapeo realizado en la Etapa 6, conciernen a la Perspectiva de Clientes, como por ejemplo la Demanda de los Clientes de Tubos S.A., o la Participación de Mercado de Tubos S.A., sin embargo, con fines de ayuda al usuario final, es posible también mostrar en la interfase, algunas variables que son de interés para el manejo de esta perspectiva y que pertenecen a otras perspectivas. Así, es posible ver por ejemplo la tabla de la Oferta de Tubos S.A, que pertenece a la perspectiva de Procesos Internos.

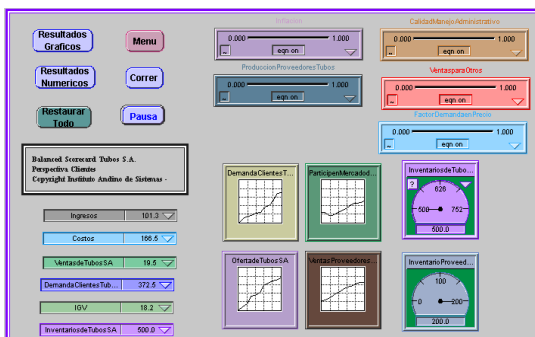


Fig. No. 16: Cuadro de Mando de Tubos S.A.: Perspectiva Clientes

La Figura No. 17 muestra la Perspectiva de Procesos Internos de Tubos S.A. siguiendo los mismos criterios explicados en las perspectivas descritas previamente.

Como se ha dicho previamente, es posible hacer análisis de sensibilidad de las variables concernientes a la Perspectiva de Procesos Internos y analizar qué tipo de decisiones se podrían tomar desde esta perspectiva, para cumplir y lograr la misión y visión de Tubos S.A.

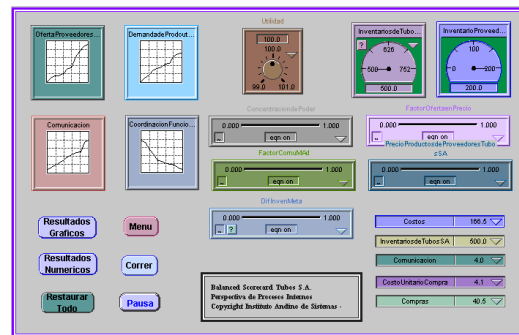


Fig. No. 17: Cuadro de Mando de Tubos S.A.: Perspectiva Procesos Internos

La Figura No. 18 muestra la Perspectiva de Crecimiento y Desarrollo. En esta perspectiva y usando el software Stella / Ithink, es posible simular el impacto causal de variables “soft”, es decir de variables cualitativas, que tienen un gran impacto en el manejo estratégico de Tubos S.A.

El caso narra que uno de los directivos de Tubos S.A. establece mecanismos de poder para manejar la empresa de acuerdo a su estilo personal. En esta perspectiva se ve cuál es la influencia de la concentración de poder con la motivación del personal, la comunicación, la calidad del manejo administrativo de la empresa, el impacto en la visión compartida del personal para el logro de la misión y visión de Tubos S.A.

Todas estas variables están plasmadas en las relaciones causales de esta perspectiva y han sido modeladas usando tablas cuali-cuantitativas que relacionan este tipo de variables con variables “hard”, como las ventas, los ingresos, los costos operativos y la utilidad neta de Tubos S.A.

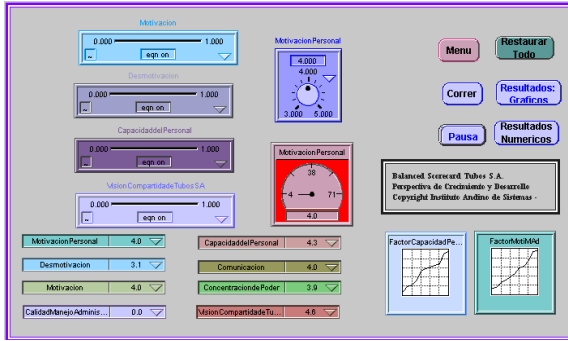


Fig. No. 18: Cuadro de Mando de Tubos S.A.: Perspectiva de crecimiento y desarrollo

En la figuras 19 a la 22 se muestran los resultados de simulación que replica el comportamiento patológico de la organización, como punto de partida para analizar qué cambios habría que hacer considerando los indicadores de las cuatro perspectivas, a fin de cambiar el curso de acción de Tubos S.A.

A partir del estudio de la dinámica en el tiempo de estas variables, será posible pensar en los cambios que sean necesarios a fin de modificar el comportamiento sinérgico de Tubos S.A.

Como es de suponer, todo ello ha de conducir al aprendizaje en el manejo estratégico de la organización y si esto lo hace el equipo directivo de la organización, entonces se estará creando un conocimiento colectivo sobre cómo manejar estratégicamente Tubos S.A.

El costo del aprendizaje en el manejo estratégico, considerando este tipo de ambientes de aprendizaje es muy bajo, con el costo que tomaría pasar por la propia experiencia en la toma de decisiones en el mundo real.

En consecuencia, el empleo de la MSDBSC-EM sirve para generar este tipo de ambientes de aprendizaje, a partir de un conjunto de etapas que plantea esta metodología y que garantiza que se conciben indicadores que relacionados causalmente, permitan la consecución de misiones y visiones de calidad de la organización.

La Figura No. 19 muestra la dinámica del comportamiento de algunas variables de la Perspectiva Financiera de Tubos S.A., considerando la situación patológica de la organización. Como se puede apreciar, podemos ver que los Ingresos vienen cayendo en el tiempo, los costos de compra de planchas al proveedor son fluctuantes y esto es debido a que los precios y las cantidades de compra

al proveedor son cambiantes y la utilidad de Tubos S.A. es negativa.

El reto consistirá en ver qué decisiones deberán tomarse, considerarse en las diversas perspectivas, para cambiar este comportamiento.

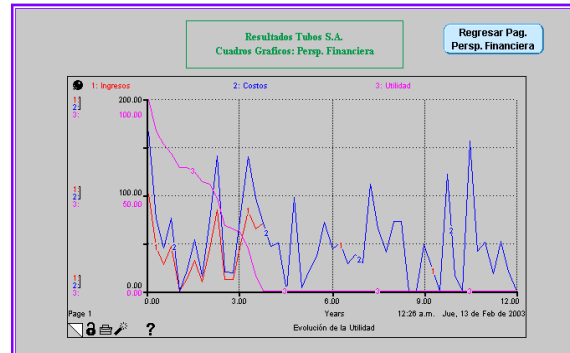


Fig. No. 19: Resultados gráficos del comportamiento de algunos indicadores de Tubos S.A.: Perspectiva Financiera

La Figura No. 20 muestra el comportamiento dinámico de las variables de la Perspectiva Clientes. Puede observarse en el gráfico que la demanda de los clientes está aumentando, sin embargo, si bien la oferta de productos también viene aumentando, está tendiendo a estabilizarse, y esto sucede pues la variable factor de la oferta, que evalúa el comportamiento futuro de la oferta, en función a la situación financiera de Tubos S.A. y los inventarios existentes, está descendiendo significativamente.

De otro lado, puede apreciarse que el comportamiento del precio de venta de las planchas que Tubos S.A. ofrece tiene un comportamiento fluctuante, que afecta el nivel de ingresos y las utilidades de Tubos S.A.

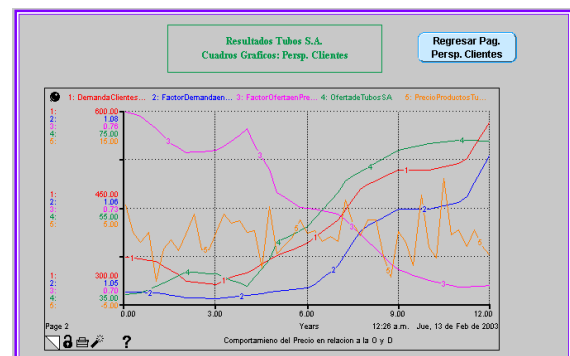


Fig. No. 20: Resultados gráficos del comportamiento de algunos indicadores de Tubos S.A.: Perspectiva Clientes

La Figura No. 21 muestra la Perspectiva de Procesos Internos de Tubos S.A., puede apreciarse que los

costos son fluctuantes, el incremento de los inventarios viene dándose, al incrementarse las compras, haciendo que suban los inventarios, que contribuye a la vez al incremento de los costos de Tubos S.A.

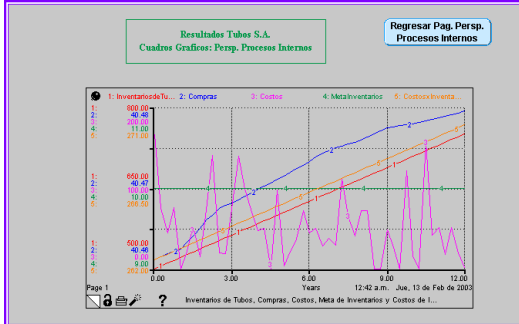


Fig. No. 21: Resultados gráficos del comportamiento de algunos indicadores

La Figura No. 22 muestra la Perspectiva de Crecimiento y Desarrollo. Aquí se muestra el comportamiento dinámico de diversas variables tipo “soft” (variables blandas, variables cualitativas) como la calidad en el manejo administrativo que está descendiendo debido a la concentración de poder por parte de uno de los directivos de Tubos S.A. y su impacto que genera la caída de diversas variables importantes en la gestión de Tubos S.A., como la comunicación y la coordinación funcional, aun cuando, como puede verse, la capacidad del personal va en aumento.

Este tipo de comportamiento en estas variables soft tendrá un impacto importante en los costos de gestión de la empresa, en el nivel de ventas de la misma y en consecuencia en los ingresos y la utilidad neta de la organización.

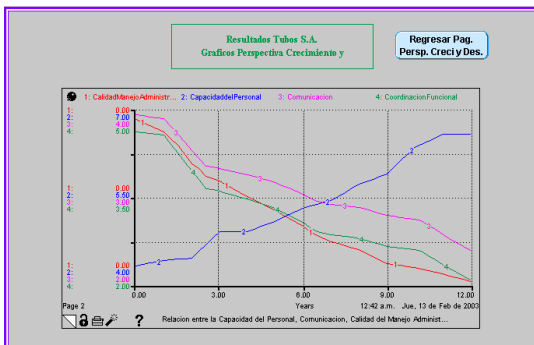


Fig. No. 22: Resultados gráficos del comportamiento de algunos indicadores de Tubos S.A.: Perspectiva de crecimiento y desarrollo

7. Conclusiones

Se puede concluir, entre otras cosas, que el DBSC tiene las siguientes ventajas:

- Constituye un instrumento de gran relevancia para el control integral de la organización en su relación con el entorno, conectando la trayectoria pasada con el presente y futuro de la organización.
- Es un útil intelectual que replanteando el enfoque tradicional de analizar la organización desde indicadores contable - financieros, considera otros indicadores que permiten conectar la misión y visión de la misma con los objetivos, metas y estrategias, que delinear la ruta a seguir en el futuro por la organización.
- Conforman un medio para obtener una visión compartida entre los ejecutivos de la organización acerca de los problemas que tiene la misma y lo por hacer en el futuro a fin de plantear un crecimiento y desarrollo saludable y sostenido.
- Permite considerar adecuadamente distintos aspectos sumamente importantes, tanto del entorno como del interno (los clientes externos e internos) así como valorar aquello que en estos tiempos de la era de la información es muchas veces más importante que los activos tangibles: los activos intangibles, que vienen a ser las habilidades del personal con que cuenta la organización, la información, el know - how, las relaciones humanas y organizacionales, las habilidades, talentos y competencias personales y el manejo del poder dentro de la organización.
- Sin embargo, es menester mencionarlo también; es posible, desde una perspectiva sistémica amplia, y pensando en aplicaciones más allá de las organizaciones empresariales, replantear la propuesta de Kaplan y Norton, considerando otras visiones, que permitan comprender con mayor amplitud la problemática del interno y el entorno del sistema social considerado, como ha sido nuestra experiencia profesional al haber trabajado en proyectos de desarrollo social, seguridad ciudadana y de desarrollo sostenible de regiones y países y que se refleja en la MSDBSC – EM mostradas en el presente documento.
- Por otro lado, la MSdBSC – EM considera adicionalmente diversos conceptos que provienen del pensamiento de sistemas que a nuestro parecer, enriquecen los temas tratados por los profesores Kaplan y Norton y agrega a ese cúmulo de conocimientos diversos conceptos y formas de trabajar que han permitido la concepción de la MSDBSC – EM, tal como se ha explicado en páginas anteriores.

- Puede decirse, además, que la MSBSC – EM presenta un marco conceptual e intelectual que va más allá del planteamiento tradicional del Balanced Scorecard, planteándose un enfoque que se enmarca en lo que se conoce como cuadros de mando de tercera generación, cuadros de mando que relacionando causalmente las variables (indicadores de objetivos y de iniciativas estratégicas) permiten visualizar posibles escenarios de desenvolvimiento de la organización, aspecto sumamente importante para la toma de decisiones estratégicas de la organización.
- La MSDBSC-EM nace producto de la fusión de diversos conceptos y propuestas de distintos académicos, tanto en el campo del pensamiento estratégico como del pensamiento sistémico, constituyéndose por sí misma en un esquema sinérgico, que adiciona, fusiona y replantea la concepción de los cuadros de mando integrales al sinergizar diversos conceptos que vienen del pensamiento estratégico tratados por diversos autores, pero de una manera aislada y tradicional.
- La posibilidad de trabajar con softwares de simulación de Dinámica de Sistemas como Stella / Ithink, Vensim, Powersim; permite desarrollar Cuadros de Mando Integrales y Dinámicos, lo cual brinda al ejecutivo y tomador de decisiones, la posibilidad de estudiar distintos escenarios y aprender permanentemente al realizar dicha experiencia.
- Finalmente, debe considerarse a la MSDBSC – EM como un esquema dirigido a que la organización sea una orientada al paradigma del aprendizaje colectivo que debería conducir a lo que Peter Senge (1991) denomina Organización Inteligente.

BIBLIOGRAFÍA

- ACKOFF, R. L. 1981. El arte de resolver problemas, Editorial Limusa, México
- ACKOFF, R. L. 1984: Rediseñando el futuro, Editorial Limusa, México
- ACKOFF, R. L. et al.; 1986. Guía para controlar el futuro de la empresa, Editorial Limusa, México
- ANSOFF, H. I. 1965: Corporate Strategy, -Wiley, New York
- BALLVÉ, A. M. 2000. Cuadro de Mando: Organizando información para crear valor, Ediciones Gestión 2002, Barcelona.
- BEER, S. 1981. Brain of the Firm, 2nd edition, Wiley, Chichester
- BEER, S. 1985. Diagnosing the System for Organisations, Wiley, Chichester
- CHECKLAND, P., B. 1981. Systems Thinking, Systems Practice, Wiley, Chichester
- CHECKLAND, P. B. and SCHOLEs, J. 1990. Soft Systems Methodology in Action, Wiley, Chichester
- CHEKCLAND, P. B. and HOLWELL. S. 1998. Information, Systems and Information Systems: Making sense of the field, John Wiley and Sons, Chichester.
- CHECKLAND, P. B. and POULTER, J. 2006. Learning for Action: A short definitive account of Soft Systems Methodology and its use fro Practitioners, Teachers and Students, John Wiley and Sons, Chichester.
- DAVID, F. 1997. Conceptos de administración estratégica, Editorial Prentice Hall, México
- DAVID, F. 2010. Strategic Management: Concepts, Prentice Hall, USA.
- FORRESTER, J. W. 1965. Industrial Dynamics, The MIT Press, Cambridge
- KAPLAN, R., S. and NORTON, D. P. 1996. Cuadro de Mando Integral, Ediciones Gestión 2000, S.A., Barcelona
- KAPLAN R., S. and NORTON, D. P. 2001. Cómo utilizar el cuadro de Mando Integral, Ediciones Gestión 2000, S.A., Barcelona
- KAPLAN, R., S. and NORTON, D. P. 2004. Strategy Maps: Converting Intangible Assets into Tangible Outcomes, Harvard Business School Press, Boston.
- LÓPEZ-VIÑEGLA, A. 1998. El cuadro de mando y los sistemas de información para la gestión empresarial, Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas, Madrid.
- LORANGE, P. 1980. Corporate Planning, Editorial Englewood Cliff - Prentice Hall, New Jersey
- MINZBERG, H. et. al. 1997. El proceso estratégico, Editorial Prentice Hall, México
- MORECROF, J. 2007. Strategic Modelling and Business Dynamics, John Wiley and Sons, Chichester.

NIVEN, P. R. 2006. *Balanced Scorecard: Step by step*, John Wiley and Sons, Chichester

OLVE, N-G.; ROY, J.; WETTER, M. 2000. *Implantando y gestionando el Cuadro de Mando Integral*, Ediciones Gestión 2000 S.A., Barcelona

PORTER, M., E. 1992. *Estrategia competitiva: Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia*, Editorial CECSA, México

PORTER, M., E. 1996. *Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior*, Editorial CECSA, México

RODRÍGUEZ ULLOA, R. A. 1994. *Casos en Sistemas de Información: la experiencia peruana*, Editorial Universitaria, Universidad del Pacífico, Lima

RODRÍGUEZ ULLOA, R. A. 1995. *Sistémica 94: Aproximándonos al Tercer Milenio: Estrategias de desarrollo sustentable en sociedades y organizaciones con escasez de oportunidades y recursos*, pp. 220 – 263. Editorial Instituto Andino de Sistemas – IAS, Lima.

RODRÍGUEZ ULLOA, R. A. 2006. *Metodología sistémica para elaborar y mantener un cuadro de mando integral y dinámico (Dynamic Balanced Scorecard) – MSDBSC-EM*, libro virtual, Instituto Andino de Sistemas – IAS, Lima.

SENGE, P. 1991. *La quinta disciplina*, Editorial Gránica, Buenos Aires.

STEINER, G. 1984. *Planeación estratégica*, Editorial CECSA, México

ULRICH, H. 1983. *Principios de estrategia empresarial*, Editorial El Ateneo, Buenos Aires

VILLAJUANA, C. 2010. *Cómo tejer el balanced scorecard*, Universidad ESAN, Lima.

WARFIELD, J. N. 1994. *A Science of Generic Design: Managing Complexity Through Systems Design*, 2nd. Edition, Iowa State University Press

WILSON, B. 1984. *Systems: Concepts, Methodologies and Applications*, John Wiley and Sons, Chichester

WILSON, B. 2000. *Soft Systems Methodology*, John Wiley and Sons, Chichester.

Método cuantitativo en la gestión del conocimiento

Hernán Montaña Motato, MSc. Ingeniería
Grupo de Investigación de Gestión del Conocimiento
Universidad Autónoma de Occidente
Grupo de Investigación de Modelación y Simulación
Universidad Autónoma de Occidente
hmotano@uao.edu.co

Resumen: Los subsistemas propios de los procesos académicos en las universidades, presentan un alto grado de complejidad, producto de las relaciones endógenas y exógenas de las unidades académicas.

El artículo integra teorías y métodos del cuadro de mando integral y la Dinámica de Sistemas, con el objetivo de proponer una metodología de nueve pasos que permitan una visión dinámica y sistémica de algunos de los actores que componen la universidad; para el presente estudio académico se consideró a los docentes, los proyectos y los estudiantes definidos como clientes.

En el ámbito de la modelación matemática se presentan las ecuaciones diferenciales que modelan el comportamiento de las variables de estado que están implícitas en el modelo.

Palabras Clave: Dinámica de Sistemas, cuadro de mando integral, modelación y simulación matemática.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de conocimiento es un campo ampliamente discutido por estudiosos en el tema, entendiéndose como el arte de crear valor mediante el afianzamiento de los activos intangibles. “Para lo cual se debe ser capaz de visualizar la organización como algo que no es más que conocimiento y flujos de conocimiento” Sveiby, citado por Valhondo [1]; se han creado diversos enfoques en los cuales la medición entra a formar parte en estudios de investigación y aplicación. La metodología de cuadro de mando integral y Dinámica de Sistemas tiene la fortaleza de ver el comportamiento en el tiempo de los tipos de capitales humano, estructural y relacional que definen el capital intelectual.

En la medición del capital intelectual, crear escenarios de futuro es un recurso válido y pertinente para la toma de decisiones. La simulación matemática es una herramienta que hace posible visualizar gráficamente o describir en tablas el comportamiento de variables fundamentales de un sistema; de esta forma se pueden inferir comportamientos futuros basados en la modificación de estrategias, haciendo uso del cuadro de mando integral, el cual busca medir el rendimiento de una empresa, relacionando los objetivos corporativos, siendo un método propicio para medir el impacto del conocimiento y de su gestión en las organizaciones. Valhondo [1].

Inicialmente se presenta un recuento del estado de una metodología útil en la gestión del conocimiento como es el cuadro de mando integral, posteriormente se introducen, en forma sintética, algunos conceptos relevantes de la modelación y simulación con Dinámica de Sistemas, indicando los pasos a seguir para la construcción de un cuadro de mando integral dinámico y, finalmente, se muestra un caso hipotético en una unidad académica. El objetivo principal del artículo es mostrar la posibilidad de medir elementos que participan en la generación de conocimiento, a través de indicadores de gestión con modelos sistemáticos, dinámicos y matemáticos, haciendo uso de las TIC.

2. ELEMENTOS SOBRE EL CUADRO DE MANDO INTEGRAL

Los sectores públicos y privados están inmersos en un entorno de complejidad creciente por la imperiosa necesidad de la mejora continua en los procesos, buscando encontrar la eficacia, eficiencia y economía en ellos; el reto actualmente para los sectores productivos parece estar enmarcado en el hacer más con menos recursos.

Para dar respuesta a la sostenibilidad de las organizaciones éstas han tenido que dotarse de herramientas de gestión y control; en este sentido, el cuadro de mando integral, aparece a principio de los noventa, Kaplan y Norton [2], siendo éste un instrumento de gestión y control que se ajusta a los requerimientos empresariales del presente y del futuro.

Según Brenser y Barsky [3], entre las características más importantes del cuadro de mando integral se tiene que:

Adquiere una dimensión estratégica, dado que considera objetivos a mediano y largo plazo. En los indicadores se relacionan aquellos que tienen que ver tanto con tangibles, como con intangibles de la organización.

En las fases de diagnóstico y diseño se debe contar con la participación de empleados en todos los niveles, de tal forma que se cuente con una construcción y compromiso de un colectivo. A manera de ilustración, en alguna unidad académica en organizaciones de educación superior se debe considerar la intervención de estudiantes, directivos, y profesores.

La alineación de objetivos, estrategias e indicadores se estructura clásicamente en torno a cuatro perspectivas:

2.1. PERSPECTIVA FINANCIERA. ¿CÓMO DEBERÍAMOS APARECER ANTE NUESTROS ACCIONISTAS PARA TENER ÉXITO FINANCIERO? KAPLAN Y NORTON [2].

Los objetivos financieros son considerados como el resultado de las acciones que se hayan desarrollado en la empresa con anterioridad. De esta manera con el cuadro de mando se plantea que la situación financiera de la empresa no es más que el efecto que se obtiene de las medidas tomadas en las perspectivas anteriores. Los objetivos financieros servirán de enfoque para el resto de los objetivos en las siguientes perspectivas y comenzando por los objetivos financieros a largo plazo se desarrollará una serie de acciones para realizar en los clientes, procesos y aprendizaje.

Por tanto, de los objetivos financieros que se quieran lograr partirán muchas de las decisiones que se tomen en las restantes perspectivas, pero ésta solo servirá de enfoque y posteriormente de control de las medidas tomadas. De esta manera sin eliminar la importancia

de la actuación financiera, ésta pasa a formar parte de un sistema integrado, donde es uno entre otros elementos de importancia, pero no es el único criterio de medida empresarial. La situación financiera además de valorar los activos tangibles e intangibles empresariales será un importante criterio de medida de las acciones que se realizan para la consecución de la estrategia.

2.2. PERSPECTIVA CLIENTE. ¿CÓMO DEBERÍAMOS APARECER ANTE NUESTROS CLIENTES PARA ALCANZAR NUESTRA VISIÓN? KAPLAN Y NORTON [2].

Para lograr el desempeño financiero que una empresa desea, es fundamental que posea clientes leales, con ese objetivo en esta perspectiva se miden las relaciones con los clientes y las expectativas que los mismos tienen sobre los negocios. Además, en esta perspectiva se toman en cuenta los principales elementos que generan valor para los clientes, para poder así centrarse en los procesos que para ellos son más importantes y que garanticen la lealtad a la organización.

El conocimiento de los clientes y de los procesos que más valor generan es muy importante para lograr que el panorama financiero sea satisfactorio. Sin el estudio de las peculiaridades del mercado al que está enfocada la empresa no podrá existir un desarrollo sostenible en la perspectiva financiera, ya que en gran medida el éxito financiero proviene del aumento de las ventas, situación que es el efecto de clientes que repiten sus compras porque prefieren los productos que la empresa desarrolla teniendo en cuenta sus preferencias.

2.3. Perspectiva proceso interno. ¿En qué procesos debemos ser excelentes para satisfacer a nuestros accionistas y clientes? Kaplan y Norton [2].

Los sectores públicos y privados están inmersos en un entorno de complejidad creciente por la imperiosa necesidad de la mejora continua en los procesos, buscando encontrar la eficacia, eficiencia y economía en ellos; el reto actualmente para los sectores productivos parece estar enmarcado en el hacer más con menos recursos.

Tomando en cuenta el mercado al que se enfoca la empresa y la satisfacción de las expectativas de los mismos y de la empresa, se identifican en esta perspectiva los procesos claves de la organización, en los cuales se debe trabajar para lograr que los productos o servicios se ajusten a las necesidades de

los clientes, identificando los procesos orientados a cumplir la misión y los procesos de apoyo y estableciendo los objetivos específicos que garanticen esta satisfacción.

2.4. PERSPECTIVA APRENDIZAJE Y CRECIMIENTO. ¿CÓMO MANTENDREMOS Y SUSTENTAREMOS NUESTRA CAPACIDAD DE CAMBIAR Y MEJORAR PARA ALCANZAR NUESTRA VISIÓN?

Esta perspectiva, que generalmente aparece como cuarta, es el motor impulsor de las anteriores perspectivas del cuadro de mando y refleja los conocimientos y habilidades que la empresa posee, tanto para desarrollar sus productos como para cambiar y aprender. En esta perspectiva se debe lograr que el aprendizaje y el crecimiento de la organización tributen a las perspectivas anteriores.

Las competencias del personal, el uso de la tecnología como generador de valor, la disponibilidad de información estratégica que asegure la óptima toma de decisiones y la creación de un clima cultural propio para afianzar las acciones transformadoras del negocio, son objetivos que permiten que se alcancen los resultados en las tres perspectivas anteriores. Los empleados satisfechos y capaces desarrollan procesos de gran valor para los clientes, que repiten en sus compras y por tanto generan un aumento en las ventas, situación que repercute favorablemente en la situación financiera empresarial.

La propuesta de construcción de perspectivas es modificable según el tipo de organización, el número y tipo de perspectiva, se puede definir por los diseñadores de la herramienta. En una unidad académica o en una organización de educación superior la perspectiva de resultados financieros se define con base en intangibles, donde intervienen asuntos como la cultura investigativa institucional, el compromiso pedagógico del aprendizaje y crecimiento, y la credibilidad de los estudiantes en su institución.

En las organizaciones universitarias la perspectiva de empleados se convierte en el eje central del diseño, dado que el conocimiento es la materia prima para emprendimiento e innovaciones y puede definirse como perspectiva de aprendizaje y crecimiento. En esta perspectiva se visualiza y se mide la capacidad de innovación y cambio en organizaciones de carácter formativo.

El cuadro de mando integral se basa en la hipótesis que si se actúa sobre la perspectiva de los empleados, éstos serán el motor en el mejoramiento de los procesos, lo cual afectará la satisfacción de los clientes, con repercusión en el asunto económico [2]. En una organización educativa, la formación cualificada de docentes trae como consecuencia el mejoramiento de los procesos pedagógicos, creando una buena imagen en estudiantes, padres de familia y en la empresa, lo cual implicará mejores relaciones de la organización con su entorno. [4].

Por cada perspectiva se deben identificar los factores clave de éxito, los indicadores correspondientes y las relaciones causa – efecto entre ellos, para de esta manera dar una explicación de cómo conseguir mejores resultados, al crear flujos de relaciones entre indicadores, los cuales están asociados con objetivos, estrategias y recursos existentes.

La información en su totalidad puede registrarse en una matriz que relaciona las perspectivas con los indicadores, estrategias y recursos. Clásicamente se conoce este tipo de matrices como un Mapa Estratégico. Un mapa estratégico está definido por un conjunto de variables que representan mediciones de la realidad empresarial, y un conjunto de relaciones causales unidireccionales entre variables. Estas relaciones causales sólo se indican cualitativamente, no se pesan (como ocurre en el análisis estructural) ni tampoco se expresan en ecuaciones matemáticas.

El cuadro de mando integral permite determinar las directrices estratégicas de una organización, considerando las perspectivas aprendizaje y crecimiento, procesos, clientes, financiera. Estas perspectivas definen capitales humano, estructural y relacional pertinentes académicamente en estudios propios de gestión de conocimiento.

En los estudios de gestión de conocimiento se identifican tres generaciones. La metodología de Dinámica de Sistemas y cuadro de mando integral se enmarca en la tercera de ellas.

En la Primera Generación, el conocimiento era tomado como un registro, se consideraba la gestión de conocimiento como una herramienta para identificar, resguardar, ordenar y aprovechar la base de conocimiento de las organizaciones. Por ejemplo la administración de documentos y las bases de datos de talentos. En esta generación se identificaban procesos ligados a esta temática tales como seleccionar, codificar y organizar. Comunidad Iberoamericana de Gestión del Conocimiento [5].

La Segunda Generación consideraba el conocimiento como flujo. La gestión de conocimiento se ligaba como un método para identificar, administrar y estructurar el conocimiento, como por ejemplo la gestión del flujo de trabajo, la gestión de comunidades de práctica. Igualmente los procesos en esta generación se enfocaban a generar comunidad. Comunidad Iberoamericana de Gestión del Conocimiento [5].

Por su parte, la Tercera Generación concebía el conocimiento como valor integral. Consideraba la gestión de conocimiento como una estrategia para identificar y sistematizar el universo de capitales de la organización. Era utilizada para la organización basada en conocimiento y la capitalización de activos intelectuales. Asimismo, los procesos incluían: capitalizar estratégicamente, e integrar sistemáticamente. Comunidad Iberoamericana de Gestión del Conocimiento [5].

Según la Comunidad Iberoamericana de Gestión del conocimiento [5] una organización que defina el conocimiento como valor integral, en el marco de la tercera generación, para generar competitividad e innovación, debe tener como procesos fundamentales los siguientes:

1. Alineación y consolidación estratégica de capitales. Determinar, sistematizar y operacionalizar el universo de valor de una organización.

2. La gestión del capital humano. Determinar y desarrollar las competencias individuales, grupales y organizacionales de generación de valor como un todo.

3. La gestión del capital instrumental. Determinar, implementar y desarrollar las condiciones y recursos para el apalancamiento de la aportación de valor de todos los elementos de la organización.

La arquitectura del cuadro de mando integral permite, a través de perspectivas, agrupar y relacionar objetivos, indicadores, iniciativas estratégicas, con el propósito de expresar los procesos fundamentales de la gestión de conocimiento. La definición de cada una de las perspectivas debe plantearse de tal forma que caracterice tanto la organización como los procesos fundamentales: Alineación y Consolidación Estratégica de Capitales, La Gestión del Capital Humano y la Gestión del Capital Instrumental.

3. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS

3.1 Referentes. Varios son los autores que han realizado trabajos alrededor de este tema. Para el desarrollo del presente capítulo se han tomado las temáticas tratadas por Aracil, J. [6], Sterman John [7], Rubiano, Berna y Montaña [8]. Entre las definiciones de Dinámica de Sistemas se citan:

- Martínez, Silvio y Requema Alberto [9] define como: “una metodología de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistemas y su comportamiento a través del tiempo con tal de que tenga características de existencias de retardos y bucles de realimentación”.

- Forrester, Jay W. [10] define como: “Herramienta que sirve para estudiar las características de realimentación de la información en la actividad industrial con el fin de demostrar cómo la estructura organizativa, la amplificación (de políticas) y la demoras (en las decisiones y acciones) interactúan e influyen en el éxito de la empresa”.

- Aracil Javier y Gordillo Francisco [6] define como: “un método en el cual se combinan el análisis y la síntesis, suministrando un ejemplo concreto de la metodología sistémica. La Dinámica de Sistemas suministra un lenguaje que permite expresar las relaciones que se producen en el seno de un sistema, y explicar cómo se genera su comportamiento”.

La Dinámica de Sistemas es una técnica que se encarga de analizar cómo las relaciones en el seno de un sistema permiten explicar su comportamiento total. Se considera que un sistema es un conjunto de elementos en interacción, esta dinámica da como resultado que unas partes influyan sobre otras y las influencias mutuas determinaran los cambios. Andrade, Dyner, Espinoza, López y Sotaquirá [11]. Por tanto los cambios que se producen en el sistema son reflejos, en alguna medida, de las interacciones que tienen en su seno. Por otra parte, la trama de relaciones constituye lo que se denomina estructura.

3.2 Metodología para la construcción de modelos de Dinámica de Sistemas. Respecto a la metodología a usarse para la elaboración de un modelo de Dinámica de Sistemas se ilustran dos referentes: 1) Hugo Andrade de la Universidad industrial de Santander [11]. 2) Martin Schaffernith [12].

LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR ANDRADE [11] PLANTEA:

Paso 1. Identificar y definir el problema. Este paso es fundamental y determinante, ya que si se identifican correctamente todos los aspectos implicados se logrará elaborar un modelo dinámico que sea representativo del comportamiento real del sistema, permitiendo de ese modo la simulación de distintas políticas alternativas y en consecuencia conocer cuál de ellas resulta más idónea para su posterior aplicación. Se necesita una gran cantidad de información, así como de experiencia, para poder aislar el problema con el objeto de simularlo. Por otro lado, la definición del proceso debe ser lo más concisa, precisa y clara posible.

Paso 2. Identificar y aislar los factores que parecen interactuar creando los síntomas observados. A la hora de definir esos factores o variables no debemos olvidar que todo modelo es una representación simplificada de la realidad y que por tanto no podemos reflejar el sistema real de comportamiento en su totalidad. Deberán especificarse cuáles son los límites del sistema; es decir, se debe discernir qué factores se van a incluir en el modelo y cuáles se excluirán, seleccionando aquellos que intuitivamente parecen ser los más significativos.

Derivado de la necesaria simplificación del modelo, siempre habrá aspectos no recogidos por el mismo, siempre que estos no sean determinantes a la hora de explicar su comportamiento. El dominio de patrones estructurales -arquetipos sistemáticos o estructuras recurrentes permitirá observar características o elementos comunes en muchos problemas, así como descubrir un punto de apalancamiento -el lugar donde actos y modificaciones de estructuras pueden conducir a mejoras significativas y duraderas.

Paso 3. Circuitos de retroalimentación. Éste consiste en trazar circuitos de realimentación de información de causa-efecto que unen las decisiones con las acciones. Estos circuitos permitirán observar cómo la situación actual es el resultado de decisiones que han sido tomadas en el pasado, y cómo esa situación a su vez es empleada para la toma de decisiones en la actualidad.

En este momento será posible elaborar un diagrama causal del problema en el cual se incluyan todos los elementos necesarios para comprender lo que está sucediendo en el sistema, pudiendo representar y describir los bucles de realimentación que existen en

el mismo, así como identificar el tipo de relación existente entre las variables implicadas.

Paso 4. Formulación de políticas. Una vez que han sido detectados los bucles se deben formular las políticas de decisión empleadas por la organización, habitualmente, comprobando qué políticas son las que originan el problema que se plantea.

Paso 5. Modelo Matemático. Este consiste en la elaboración de un modelo matemático que refleje el funcionamiento real del sistema objeto de estudio. Este modelo matemático estará formado por una serie de ecuaciones que recojan las políticas de decisión que han sido definidas previamente, así como las fuentes de información existentes y la interacción entre las variables significativas.

Paso 6. Estudio del comportamiento. Una vez elaborado el modelo matemático se procederá a generar el comportamiento del sistema estudiado a lo largo del tiempo. Mediante la simulación se observará el comportamiento del sistema ante las distintas decisiones aplicadas, con ello se obtendrán unos resultados que le servirán al investigador para validar o rechazar el modelo en función de que estos se ajusten o no a la realidad.

La metodología propuesta por Schaffernicht [12] plantea

Paso 1. Definir el problema. Cada modelo es una construcción humana en la que aparecen solamente algunos aspectos del mundo -lo que es *relevante*. No todas las cosas que podrían ser descritas (y modeladas) son relevantes. Al respecto Sterman [7] recomienda resolver preguntas relacionadas con el propósito, la conveniencia y la frontera del modelo

- ¿Cuál es el propósito del modelo?
- ¿Cuál es la frontera? ¿Están los ítems importantes siendo tratados de manera endógena? ¿Qué variable importante ha sido asumida como exógena o excluida? ¿Se han excluido variables por falta de datos “duros”?
- ¿Cuál es el horizonte de tiempo relevante? ¿El modelo contiene las entidades que pueden cambiar de manera significativa en este periodo?
- ¿Es el nivel de agregación coherente con el propósito?

Paso 2. Cuantificar el modelo. Un diagrama de bucle causal es interesante y su análisis (cualitativo) muchas veces genera ideas y descubrimientos interesantes. Sin embargo, necesitamos la ayuda de

herramientas para llegar a comprender estos modelos. En el caso de la Dinámica de Sistemas, esto significa la formulación de un modelo formal, con variables de flujo y de nivel, representadas internamente como ecuaciones diferenciales y simuladas por algoritmos de integración.

La cuantificación pasa por la elaboración de los flujos físicos y de las políticas en términos de estas variables, la estimación de las funciones que enlacen a las variables y la estimación de los valores de parámetros.

Paso 3. Validar el modelo. ¿Cómo llegamos a confiar en el modelo? La pregunta es delicada: nos proponemos intervenir en el sistema modelado, con base en recomendaciones que derivan del modelo. Si el modelo corresponde lo suficiente al sistema, entonces las consecuencias de nuestra intervención en el modelo –probablemente– serán similares a las consecuencias en el sistema representado. Entonces, ¿cómo podemos saber que el modelo es confiable?

Paso 4. Explotar el modelo. Necesitamos un modelo explicativo, con el propósito de hacer experimentos de cambio. Se dice de la simulación que compacta el tiempo y el espacio: podemos simular en segundos y en una pequeña pantalla lo que en el mundo físico toma años y pasa a miles de kilómetros de distancia.

Una vez que tengamos confianza en el modelo, vamos a elaborar diferentes escenarios de cambio, y los sometemos a series de simulación para averiguar su sensibilidad. Así podemos establecer lo que muy probablemente pasará cuando se implemente cada una de las diferentes alternativas, y podemos derivar una recomendación: ¿cuál es el cambio que probablemente más nos convenga para superar el problema inicial?

4. METODOLOGÍA PARA EL CUADRO DE MANDO INTEGRAL DINÁMICO

Un tema que adquiere crítica en los sistemas es su naturaleza estática y justamente una característica esencial del entorno actual de los negocios es el cambio rápido y constante, donde como consecuencia podemos identificar una corriente creciente que considera que los entornos de medición estáticos no son adecuados para esta época, donde el alto volumen de intervención de agentes endógenos y exógenos trae como consecuencia una variabilidad en intervalos de tiempo cortos.

De esta manera surge la posibilidad de considerar entonces sistemas de medición dinámicos, como un

intento de poder realizar un mejor ajuste de los negocios a la realidad del medio.

Un cuadro de mando integral, casi siempre, establece relaciones causa – efecto unidireccional, donde la aplicación central es hacer seguimiento a unas estrategias establecidas. En este sentido es una herramienta para medir los logros del plan estratégico, dado que las relaciones causa - efecto entre indicadores son formas para la representación de las estrategias; como producto natural central está la medición de desempeño de la organización.

La Dinámica de Sistemas se propone como un recurso para ver sistemáticamente la lógica de comportamiento de los elementos de un cuadro de mando integral. Este enfoque posibilita ver las relaciones entre los elementos que componen una organización, permite además establecer relaciones en doble dirección entre las diferentes perspectivas del cuadro de mando integral. La propuesta de integración entre cuadro de mando integral y Dinámica de Sistemas es denominada en la literatura sobre el tema como cuadro de mando integral dinámico. Rodríguez [13].

Para poder hacer un cuadro de mando integral dinámico, se propone incorporar los conceptos que provienen del campo del pensamiento sistémico (System Thinking) y la Dinámica de Sistemas (System Dynamics). Rodríguez [13].

El campo del pensamiento sistémico nos provee del lenguaje cualitativo conocido como diagramas causales. La Dinámica de Sistemas incorpora el lenguaje cuantitativo, diagramas de niveles y flujos, que finalmente nos conducen a la formalización y facilidad de ejecución del simulador.

El resultado de esto es un modelo de tablero de comando integral que utiliza el lenguaje de la Dinámica de Sistemas, los niveles y flujos (stocks and flows), como su mecanismo de representación y comunicación. El software de Dinámica de Sistemas utilizado, VENSIM, permite ejecutar simulaciones e importar datos de fuentes tan diferentes tales como una planilla de cálculo del tipo Microsoft Excel.

La representación del cuadro de mando integral con Dinámica de Sistemas (Cuadro de Mando Integral Dinámico) resultante, según Rubiano [8], permite:

- Aumentar la capacidad de representar visualmente las vinculaciones entre las mediciones, lo cual facilita el diálogo entre expertos, directivos y empleados, ampliando

entre otras una visión compartida y el fortalecimiento de trabajo en equipo.

- Aportar al análisis de escenarios de futuro, permitiendo abordar de manera racional cuestionamientos sobre comportamiento de la organización a futuro. La racionalidad en los análisis permite disminuir la incertidumbre y el riesgo, dado que la experimentación se realiza utilizando la simulación matemática, creando posibles escenarios según la modificación de variables.
- Hacer análisis de riesgo o bien administración de escenarios que justifiquen un cambio de políticas y estrategias en la organización.

Por lo tanto, este sistema genera un gran aporte al proceso de toma de decisiones, incorporando una importante habilidad para aprender a través de la modificación y una comprensión óptima facilitada por la visualización.

5. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ELABORAR UN CUADRO DE MANDO INTEGRAL DINÁMICO. CASO HIPOTÉTICO.

Para ilustrar los pasos requeridos en la elaboración de un cuadro de mando integral dinámico, se tiene como base la representación de algunos elementos de una unidad académica en una universidad del suroccidente colombiano, tema en el cual se ha trabajado en el direccionamiento estratégico del Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Occidente y donde surgen las bases conceptuales para este capítulo.

Las universidades son instituciones cuyo insumo de crecimiento es el conocimiento, el cual está implícito en las personas y los grupos de trabajo; planteándose como hipótesis estratégica, que el crecimiento de docentes cualificados tendrá como implicación un aumento en proyectos de investigación, reflejándose esta dinámica en un aumento de estudiantes que ingresan al claustro.

Esta caracterización de la Universidad permite definir el capital intelectual con base en tres capitales que interactúan en forma dinámica: capital humano, representado por los docentes; capital estructural, representado por los proyectos de investigación; capital relacional, representado por los clientes definidos como los estudiantes de la universidad. Traducida esta visión en la arquitectura de cuadro de mando integral, se definen también tres

perspectivas basadas en las definiciones de los diferentes capitales, esto es perspectivas de: DOCENTES – PROYECTOS – CLIENTES.

Los pasos 1 al 9 reflejan la metodología de Dinámica de Sistemas y cuadro de mando integral (cuadro de mando integral dinámico). Los pasos 1 al 4 pueden tener como insumo el direccionamiento estratégico de una organización, los pasos 4 y 5 son propios del cuadro de mando integral y los pasos 6, 7, 8 y 9 corresponden a la Dinámica de Sistemas.

1) Realización de un diagnóstico sistémico de la organización y su entorno. Para esta fase se establecen dos condiciones: a) Participación de una muestra representativa de los agentes que componen el sistema, para el caso, docentes, estudiantes, personal administrativo. B) Fijar una metodología de trabajo en equipo.

2) Establecimiento de la misión y visión, conservando una alineación con propósitos institucionales o de la empresa. Los propósitos institucionales funcionan como retos para las unidades académicas, toda intención del subsistema gira en torno a las funciones básicas de la organización: docencia, investigación y proyección social.

3) Definición de objetivos y metas estratégicas. La excelencia académica de los docentes además de reflejarse en la función sustantiva de docencia, también debe impactar la función de investigación. Por tanto un objetivo de una unidad que pertenece a una universidad se puede describir así: Objetivo general. Aumentar la población estudiantil, apoyados en la calidad de los docentes y la participación calificada en los proyectos de investigación. Meta estratégica: Posicionarse en el suroccidente colombiano como la mejor universidad de carácter privado.

4) Establecimiento de indicadores para objetivos y metas. Para el presente ejercicio el indicador para el objetivo general sería: al cabo de 10 años, al menos duplicar la población estudiantil actual.

5) Alineación vertical del cuadro de mando. Esto comprende determinar relaciones causa - efectos bidireccionales entre las perspectivas.

Las relaciones causa efecto entre perspectivas determinan la dinámica del sistema. Para el presente caso se reconocen dos ciclos de realimentación positiva. La lectura se describe como: a más docentes, mayor número de proyectos, a mayor

número de proyectos, más clientes, cerrando de nuevo el bucle con: a mayor número de clientes, mayor número de docentes. (Véase **Figura 1**).

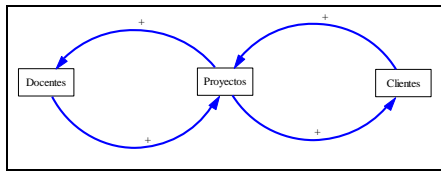


Figura 1. Diagrama Causal.
Fuente: Elaboración propia, 2009.

6) Planteamiento de Ecuaciones. Utilizando para este punto los diagramas causales como herramienta de la Dinámica de Sistemas, con los cuales se plantea las ecuaciones para relacionar matemáticamente los indicadores. El escenario se formula a partir de datos históricos o documentación extraída del estado del arte del sistema, como se muestra en las **Tablas 1, 2 y 3**.

Tabla 5. Definición de Variables de Estado

Tipo de capital	Variable de estado	Variable para el modelo	Valor inicial
Humano	Docentes	D	15
Estructural	Proyectos	P	2
Relacional	Clientes	C	500

Fuente: Elaboración propia, 2009

Tabla 6. Definición de Variables Auxiliares

	Porcentaje	Variable en el modelo
Porcentaje de ingreso docentes	2 %	Pid
Porcentaje retiro docentes	1 %	Prd
Porcentaje proyectos iniciados	2 %	Ppi
Porcentaje proyectos terminados	1 %	Ppt
Porcentaje estudiantes que ingresan	8 %	Pei
Porcentaje deserción de estudiantes	30 %	Ped

Fuente: Elaboración propia, 2009.

Tabla 7. Definición de Flujo

Flujo	Variable para el modelo
Ingreso docentes	In D
Retiro docentes	Ret D
Proyectos iniciados	In P
Proyectos terminados	Ter P
Estudiantes Ingresan	In C
Deserción estudiantes	Des C

Fuente: Elaboración propia, 2009.

El modelo comprende tres ecuaciones diferenciales, cada una de ellas con la variable de estado, que representan los diferentes tipos de capital.

$$\frac{dD}{dt} = D * C * Pid - D * Prd ; \quad \frac{dP}{dt} = D * P * Ppi ; \quad \frac{dC}{dt} = P * C * Pei - C * Ped$$

Ecuaciones descritas por la herramienta Vensim.

- (01) Clientes=INTEG (+Estudiantes Ingresan-Deserciones estudiantes 500)
- (02) Deserciones estudiantes=Clientes*Porcentaje de deserción estudiantes
- (03) DOCENTES=INTEG (Ingreso docentes-Retiros docentes, 15)
- (04) Estudiantes Ingresan=Clientes*PROYECTOS*Porcentaje estudiantes que ingresan
- (05) FINAL TIME=9; Units: Year
- (06) Ingreso docentes=(Porcentaje de ingreso docentes*DOCENTES)*(Clientes/80)
- (07) INITIAL TIME=0; Units: Year
- (08) Porcentaje de ingreso docentes=0.02
- (09) Porcentaje proyectos terminados=0.01
- (10) Porcentaje retiro docentes=0.01
- (11) Porcentaje deserción estudiantes=0.3
- (12) Porcentaje estudiantes que ingresan=0.08
- (13) Porcentaje proyectos iniciados=0.02
- (14) PROYECTOS=INTEG (+Proyectos Iniciados-Proyectos Finalizados 2)
- (15) Proyectos Finalizados=PROYECTOS*Porcentaje proyectos terminados
- (16) Proyectos Iniciados=Porcentaje proyectos iniciados*PROYECTOS*DOCENTES
- (17) Retiros docentes=DOCENTES*Porcentaje retiro docentes
- (18) SAVEPER=TIME STEP; Units: Year; The frequency with which output is stored.
- (19) TIME STEP=Units: Year; The time step for the simulation.

7) Construcción del diagrama de flujo, de niveles o de Forrester. Diagrama causal generado por la herramienta digital tecnológica Vensim que puede apreciarse en la **Figura 2**.

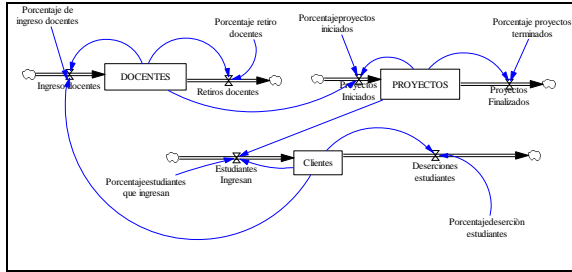


Figura 2. Diagrama de Forrester.
Fuente: Elaboración propia, 2009

La variable de estado **DOCENTES** que representa el capital humano, afecta la variable de estado **PROYECTOS** que representa el capital estructural y a su vez afecta a la variable de estado **CLIENTES** que representa al capital relacional.

El aporte de la Dinámica de Sistemas al cuadro de mando integral radica en el hecho de ver en la simulación (**Figura 2**) la dinámica en el tiempo del capital intelectual representado por los capitales humano, estructural y relacional.

La definición de capitales se soporta en el documento: **CAPITAL INTELECTUAL EN COLOMBIA: DIVULGACIÓN A TRAVÉS DE INTERNET**, presentado por Gómez, Osorio y Ospina en el Consejo latinoamericano de escuelas de administración define:

El capital humano hace referencia tanto al conocimiento individual y grupal de las personas que hacen parte de la empresa, como a su capacidad para aprender, compartir y regenerar el conocimiento. Gómez [14].

El capital estructural hace referencia al conocimiento que ha sido explicitado, sistematizado y apropiado al interior de la empresa, y que es el que permite desarrollar sus actividades con eficacia. Gómez [14]

El capital relacional se refiere a la red de relaciones que la empresa, a través de su talento humano, ha desarrollado y mantiene con sus proveedores, clientes, competidores, aliados, socios, comunidad, administración pública, etc. Gómez [14].

8) Representación del sistema. Para este punto se recurre a la utilización de una herramienta computacional como es el VESIM, la cual provee los datos necesarios para el análisis del problema. De igual manera con esta herramienta se corre la aplicación, siendo este el punto final de la metodología.

9) Correr la aplicación. En este paso se busca describir el comportamiento en el tiempo de las variables de nivel. Se sugiere que ellas representen los recursos de la organización. Esta fase se define como el análisis de escenarios según el comportamiento en el tiempo. Como se observa en la **Figura 3**.

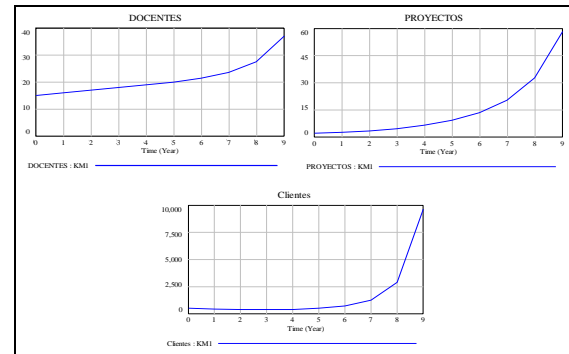


Figura 3. Comportamiento de las variables de estado en el tiempo.

Fuente: Elaboración propia, 2009.

Al correr la aplicación (Fase de SIMULACION) se considerarán las variables de estado: **DOCENTES**, **PROYECTOS**, **CLIENTES**. Que representan los capitales humano, estructural y relacional del cuadro de mando integral para una unidad académica de una universidad.

Los valores iniciales de las variables de estado son tomados de históricos o de literatura propia de estudios que hayan considerado los sistemas universitarios.

Respecto a los docentes investigadores con un valor inicial de 15, y una política de incremento de al menos 38 docentes en un horizonte de 10 años, se consigue como efecto un incremento de proyectos de 2 (Valor inicial) hasta 60 en el mismo horizonte de tiempo. Para los estudiantes, se válida la hipótesis académica de aumentar el número en el mismo horizonte de tiempo, pasando de 500 (Valor inicial) a 10.000.

6. CONSIDERACIONES FINALES

La medición del conocimiento forma parte fundamental de todo proceso de gestión, permite mostrar la necesidad e importancia de gestionarlo dentro de una organización, haciéndose esto a través de indicadores de medición bajo parámetros sistemáticos del cuadro de mando integral dinámico en el tiempo.

En la búsqueda de eficacia y eficiencia, las organizaciones se encuentran analizando y a su vez aplicando herramientas de gestión y de control que se ajusten a sus políticas, teniendo en el cuadro de mando integral una alternativa y solución.

En cuanto a la aplicación del modelo, el cuadro de mando integral dinámico permite estudiar en forma de bucles la relación entre los diferentes tipos de capitales (humano, estructural y relacional) que dan cuenta en su conjunto del capital intelectual.

Como ejercicio académico se validó la meta de al menos duplicar el número de estudiantes, con la estrategia de crecer el capital humano reflejado en DOCENTES. De igual manera, con la ayuda de la simulación se registran gráficamente los comportamientos en el tiempo de las variables de estado que a su vez reflejan los diferentes capitales.

La modelación matemática con ecuaciones diferenciales (paso 6) posibilita la utilización de otras aplicaciones computacionales como el Matlab y Stella, pertinente para el análisis cualitativo de los sistemas dinámicos. En el caso se utilizó como herramienta computacional el Vensim.

En la revisión bibliográfica se encuentra que la metodología que relaciona cuadro de mando integral y modelación y simulación matemática con Dinámica de Sistemas, tiene como referentes entre otros: Ricardo Rodríguez, Instituto Andino de Sistemas – IAS, Perú; Fabián Szulanski, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina; Department of technology Management, Eindhoven University, New Zeland.

7. CURRÍCULUM

Hernán Montaña Motato

Magíster en Ingeniería Industrial y Especialista en Sistemas de Información de la Universidad del Valle, Cali – Colombia. Especialista en Educación virtual de la Universidad Autónoma de Occidente y Matemático de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Miembro actual del Grupo de Investigación de la Universidad Autónoma de Occidente: Gestión del Conocimiento y Sociedad de la Información Categorizado en Colciencias y Miembro Actual del Grupo de Investigación de la Universidad Autónoma de Occidente: Modelación y Simulación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VALHONDO, D. (2003). *Gestión del conocimiento, del mito a la realidad*. Madrid: Díaz de Santos.
- [2] KAPLAN, R. y NORTON, D. (2001). *Cómo utilizar el cuadro de mando Integral*. Barcelona: Editorial Gestión
- [3] BRENSER, W. y BARSKY, N. (2004). Utilizing the Balanced Scorecard for R&D performance measurement. *R&D Management* 34, 3.
- [4] RODRÍGUEZ, A. y ARAUJO, A. (2003) Gestión del conocimiento en una universidad pública. El proceso de investigación, desarrollo y transferencia del conocimiento científico-técnico. *Cuadernos de gestión*, 1(1), 1-18.
- [5] Comunidad Iberoamericana de Gestión del conocimiento – CSC. (2004). *Taller en gestión del conocimiento*. Taller de enfoques y modelos de gestión de conocimientos, Medellín, Colombia.
- [6] ARACIL, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Editorial Isdefe.
- [7] STERMAN. (2000). *Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw Hill.
- [8] RUBIANO, O.; BERNA, J. y MONTAÑO, H. (2007). Modelo dinámico de la gestión de conocimiento en una unidad académica de una universidad del Valle del Cauca, Cali – Colombia. Tesis de Maestría en Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- [9] MARTÍNEZ, Silvio y REQUEMA, Alberto (1988). *Simulación dinámica por ordenador*. Alianza Editorial, Madrid.
- [10] FORRESTER, Jay W. (1981). *Dinámica industrial*. Editorial Ateneo, Buenos Aires.
- [11] ANDRADE, H.; DYNER, I.; ESPINOZA, A.; LÓPEZ, H. y SOTAQUIRÁ, R. (2001). *Pensamiento Sistémico: Diversidad en busca de unidad*. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander.
- [12] SCHAFFERNITZCHT, M. (2006) Indagación de situaciones complejas mediante Dinámica de Sistemas. Santiago: Universidad de Talca.

[13] RODRÍGUEZ, R. (2007) *Metodología Sistémica para elaborar y mantener un Cuadro de Mando (Balanced Scorecard)*. Lima: Instituto Andino de Sistemas.

[14] GÓMEZ, J.; OSORIO, E.; OSPINA, J. (2005). *Capital intelectual en Colombia: Divulgación a través de Internet*. Santiago, Chile: Consejo Latinoamericano de Escuelas de Administración.

TIC Y SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

Enfoque de Dinámica de Sistemas para el análisis de patrones de diseño para sitios web y la multiculturalidad

System Dynamics approach for analyzing design patterns for web sites and multiculturalism

Iris Mariela González, Humberto Álvarez, PhD., Isabel Leguías,

Leovigildo Bósquez, Ing. y Felipe McCalla
Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen: en este artículo se procura analizar por medio del enfoque de Dinámica de Sistemas el uso de los patrones de diseño para sitios web y la multiculturalidad, elaborando un modelo haciendo uso de disciplina Dinámica de Sistemas y observar el impacto que causaría la inclusión de los atributos multiculturales en los patrones de diseño para sitios web y su influencia positiva o negativa en el uso de la web por una pluralidad de usuarios a nivel glocal, (término que nace de la mezcla entre globalización y localización) como parte de los estudios que realiza la disciplina de Interacción Humano Computador. La representación del esquema se realizará mediante diagramas causales cuyas variables son mezclas de diversas temáticas estudiadas para realizar esta investigación.

Palabras Clave: atributos multiculturales, Dinámica de Sistemas, diseño web, internacionalización de la información, multiculturalidad, patrones de diseño.

Abstract: this article aims to analyze through the dynamics system approach, the use of design patterns for web sites and multiculturalism, to develop a model using dynamics system discipline and observe the impact that would cause the inclusion of multicultural attributes design patterns for web sites and their positive or negative influence on the use of the web by a plurality of users at glocal, (a term that comes from mixing between globalization and localization) as part of studies performed by Human Computer Interaction discipline.

The representation of the layout is done through causal diagrams whose variables are mixtures of different subjects studied for this research.

Key words: attributes multicultural, design patterns, Dynamic Systems, internationalization of information, multiculturalism, web design.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de la Información y Comunicación (Tics), avanza a pasos agigantados, gracias es esos logros tecnológicos, se vive en un mundo en el que las barreras geográficas entre naciones se han hecho pequeñas dada la comunicación, por medio del uso de internet.

En este artículo se analiza el comportamiento del uso los Patrones de Diseños de Multiculturalidad para Sitios Web, a través del modelado de la Dinámica de Sistemas (DS) [1], como un camino viable para el estudio pertinente del mismo.

1.1 Situación

Debido a la internacionalización de la información [2], el sistema web se ha convertido en uno de los medio masivos de comunicación más utilizado en los últimos tiempos. Esto se debe en parte a que es una red que está extendida a lo largo y ancho de los continentes. Este desafío tecnológico ha provocado que cada día sea mayor la cantidad de usuarios que acceden a la web; por ende los sistemas en línea están obligados a proporcionar información debida y

adecuada en diversos formatos para accesos de múltiples usuarios [3].

Ahora que a nivel mundial se puede irrumpir en la información desde cualquier lugar, existen obstáculos culturales en muchos sitios web. Una de las principales barreras que existe cuando un usuario interactúa con una aplicación web, ha sido en reiteradas ocasiones el no comprender ni entender los mensajes que allí aparecen, ni la manera como aparece la información que se muestra, ocasionando descontento y desconfianza en el usuario.

Estas situaciones son ocasionadas debido al cambio que generan las diversas culturas, ya que se componen por múltiples características que vienen desde su raíz o tradición. Existe una gama de elementos que tienen el mismo significado en diferentes lugares, es la oportunidad de aprovecharlos y utilizarlos y tratar de adecuar los que no tienen el mismo significado en la medida que sea posible, realizando estudios previos, sobre las características culturales derivadas de la mayoría de los usuarios.

Son muchos los atributos que le dan vida a las culturas y que pueden ser estudiados para ofrecer un sitio acorde a la diversidad de culturas. Muchas de estas cualidades de multiculturas se muestran en la figura No. 1, que se presenta a continuación. Es necesario hacer notar que estos no son todos los atributos que conforman las culturas, hay muchos más que hacen falta por investigar e incluir en los estudios que se realizan en beneficio de proponer herramientas de diseño que apoyen a los desarrolladores web, tomando como referencia los resultados encontrados provenientes de las diferencias culturales.

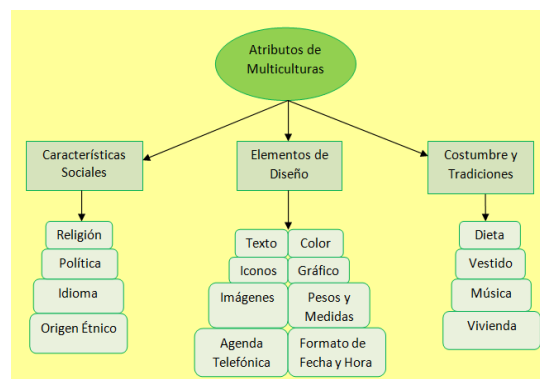


Figura # 1. Atributos multiculturales

Los especialistas en el campo de Interacción Humano Computador (HCI), como disciplina a la vanguardia del estudio que los diseños tecnológicos se realicen

en beneficio del usuario, en [4] se han propuesto estudiar situaciones en que están inmersas las cualidades culturales a nivel mundial debido al uso global de los sitios web; ya que, con la internacionalización de la información se limitan las barreras geográficas tecnológicamente hablando. Por tales motivos, se propone un análisis de la situación existente en relación a que los patrones de diseño utilizados para desarrollar web, no contemplan definitivamente en su estructura aspectos multiculturales, por tal razón, el interés en desarrollar esta investigación y brindar un mejor aporte al desarrollo de aplicaciones web por medio del uso de los patrones de diseño; ya que estos son una herramienta efectiva en la búsqueda de soluciones a problemas en el desarrollo de aplicaciones de software diversos.

Para hacerle frente a las situaciones antes mencionadas y las heterogéneas necesidades del usuario, los diseñadores web se enfrentan a la gran tarea de intentar resolver esos aspectos de cultura para ofrecer complacencia y satisfacción al usuario. ¿Pero cómo hacerlo? Por ello, se trata de investigar las diferencias de las culturas para poder optar por las recomendaciones saludables al tema.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este documento consiste en analizar el impacto que tiene incluir los atributos multiculturales en los patrones de diseño para web, a través del enfoque de Dinámica de Sistemas por medio del Diagramas Causales, como herramienta útil, dada la complejidad del sistema en estudio.

1.3 ¿Por qué definir patrones de diseño de multiculturalidad para sitios web?

Los patrones de diseño son herramientas que facilitan la solución a problemas comunes en el diseño. Esta herramienta de diseño utiliza formatos estandarizados [5] [6], dependiendo de su implementación y necesidad.

Según el arquitecto Alexander [7], cada patrón describe un problema que se da continuamente en nuestro entorno, describiendo la solución base o nuclear a ese problema, de manera tal que puedes usar esa solución un millón de veces sin utilizar dos veces el mismo modo. Se observa que la diversidad cultural está presente de una u otra forma y no se debe obviar ni ignorar; lo mejor es hacerle frente.

A continuación se presenta la estructura de este artículo que consta de 5 secciones: una vez pasada la introducción encontrará el Estado del Arte en la sección 2, en la que describe el buen uso de los patrones de diseño; seguidamente en la sección 3, encontrará la metodología implementada para el desarrollo del tema y el marco teórico de la presente investigación; en la sección 4, estará la discusión del análisis y seguidamente en la sección 5 las conclusiones respectivamente y trabajo futuro.

2. ESTADO DEL ARTE

Para el desarrollo de este documento se consideró importante presentar algunos trabajos realizados fundamentados en patrones de diseño en que se realiza la importancia de su utilidad, en algunas de las disciplinas que han hecho uso y estudios sobre la eficiencia de su implementación.

2.1 Evolución histórica patrones de diseño

La primicia de los patrones de diseño es originaria de la mano del arquitecto Alexander en su libro *The Timeless Way of Building* [8], patrones propuestos para la construcción urbanística; también la programación orientada a objeto considerando que éstos son una herramienta eficaz en el desarrollo, realiza estudios pertinentes al desarrollo de patrones de diseño [9]; otro trabajo realizado fue catálogo de *Idioms* propios para C++ [10]; desarrollo de *software* [5]; patrones de diseño ilustrados con UML para java [11].

La disciplina HCI se vuelca a la idea original de los patrones propuestos por el arquitecto Alexander, en sus escritos manifiesta que los patrones son herramienta de comunicación entre profesionales y usuarios. En este caso se refería a habitantes y arquitectos; no obstante [12] presentan patrones para desarrollar sitios web centrados en el cliente; Yahoo en su repositorio muestra una serie de patrones para diseños web; Martin Van Wellie [13], Jennifer Tidwell [14], Jaime Muñoz [15], en sus estudios por lograr mejoras para el diseño de interfaces han desarrollado una amplia cantidad de colecciones de Patrones de Interacción para Diseños Web como un instrumento que facilite la adquisición pronta de experiencia al programador novato en sus planteamiento y procurando que la interacción entre el humano y el computador sea amigable.

a. Análisis

Tal como se ha descrito, son muchas las disciplinas que han utilizado los patrones de diseño, como una

herramienta para solucionar un problema utilizando una solución comprobada y reutilizada. Como el estudio de la multiculturalidad pudiese ocasionar diferencias de opiniones se considera necesario implementar sus características primordiales en los patrones de diseño que se consideren aptos para incluir los atributos elegidos y crear sitios web multiculturales.

3. METODOLOGÍA

Para realizar esta investigación se ha procurado implementar una metodología basada en la problemática existente; analizar cómo por medio del uso de Patrones de Diseño de Multiculturalidad, se podrán desarrollar sitios web para una diversidad de usuarios. La metodología definida se presenta a continuación:

- Identificar el problema, por medio de la búsqueda de la información.
- Identificar las variables, definir las relaciones causales en el diagrama y la realimentación de los bucles.
- Definición de supuestos e influencias explicando la causa del problema.
- Crear un modelo de los patrones de diseño de multiculturalidad para sitios web, mediante el uso del Diagrama Causal
- Implementar una discusión de lo sucedido durante la implementación y el comportamiento de las variables.

Para modelar el impacto del tratamiento de atributos multiculturales dentro de la metodología para crear el diseño lógico a través de los requerimientos del sistema se utilizará un diagrama causal ilustrado en la Figura No. 2. Este diagrama presenta el procedimiento que se seguirá para ir integrando los elementos sobre el nivel deseado del modelo.

3.1 Enfoque utilizado

Para modelar el uso de los patrones de diseño en la elaboración de sitios web, considerando la diversidad de culturas se hará basándose en la Dinámica de Sistemas [1], y de esta manera poder utilizar metodologías no tradicionales en el estudio de las relaciones causales existentes al incluir aspectos multiculturales en los patrones de diseño para el diseño de plataformas web.

Por medio de las herramientas informáticas usadas hoy en día, se siguen obteniendo estos diagramas y gráficos como las formas principales o exclusivas de expresar el modelo y los resultados del comportamiento de las variables, las relaciones y la

influencia de variables sobre el posible comportamiento de otra variable y por ende del sistema.

3.2 Proposiciones

Estas proposiciones se derivan al realizar esta investigación; cuyo propósito es responder por medio del Diagramas Causales, modelar el comportamiento de este sistema a las necesidades que se muestran:

- A) Se considera necesario incluir los atributos propios de la cultura en los patrones de diseños para sitios web.
- B) Existe algún tipo de relación entre la diversidad de culturas y los patrones de diseño web.
- C) El uso de los patrones de diseño web multiculturales, permite diseñar una interfaz que satisfaga la necesidad de múltiples usuarios al acceder a la red independiente del lugar.

3.3 Diagrama Causal

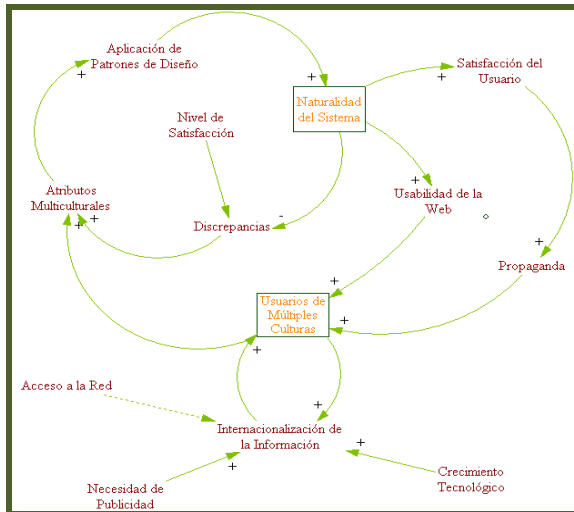


Figura No. 2. Diagrama Causal basado en el uso de los Patrones de Diseño para Sitios Web y los atributos Multiculturales.

3.4 Variables

Las variables que a continuación se muestran se han obtenido del tema presentado.

1. Naturalidad del Sistema: Es el comportamiento del sitio al momento de ser utilizado por los usuarios una vez terminado de ejecutarse, es lo que el usuario observa cuando interactúa con la aplicación.

2. Aplicación de Patrones de Diseño: Es una solución estándar para un problema común de programación para satisfacer la diversidad de usuarios [16].

3. Atributos Multiculturales: Son las características que dan vida a una cultura específicamente. Si éstos se incluyen adecuadamente en los patrones de diseño mejorará la calidad del diseño web [17].

4. Usabilidad de la Web: Esto persigue que cualquier usuario, aunque no tenga conocimientos previos, sea capaz de desenvolverse por el programa de forma intuitiva, aprovechando toda su funcionalidad. La usabilidad trata de lograrse mediante el diseño centrado en el usuario (DCU), aunque se emplean diversas técnicas.

5. Usuarios de múltiples culturas [18]: entre más atributos de culturas se adecúen a los patrones de diseño y se utilicen para el diseño web, mayor será el acceso a la web por personas de diferentes lugares (países, creencias, idioma, raza). Usuarios de diferentes países y con diferentes culturas necesitan servicios adaptados correctamente para procesar información usando su idioma de origen, su sistema de escritura, su sistema de medida, sus calendarios y otras reglas y convenciones culturales.

6. Internacionalización de la Información: es la difusión de información para una audiencia variada; es un proceso a través del cual el diseño web pueda ser traducido en diferentes idiomas y regiones sin necesidad de realizar cambios en el código [2].

7. Necesidad de Publicidad: Debido a la internacionalización de la información, el auge en el comercio electrónico ha sido superior, de allí la necesidad de publicar negocios por medio de la web, tomando en cuenta que la web será vista por múltiples usuarios.

8. Crecimiento Tecnológico: esta variable representa la evolución e innovación; entre más avanza la tecnología se reduce la brecha digital de la información. (Minimización de las barreras geográfica, tecnológicamente hablando).

9. Satisfacción del Usuario [4]: la integración de los atributos de culturas a los patrones de diseño permite presentar una web para múltiples usuarios, de allí la satisfacción al interactuar con una interfaz usable, navegable “amigable”.

10. Propaganda: tiende a la propagación de ideas filosóficas, morales, políticas, sociales o religiosas, es decir, transmisión ideológica, sobre el sitio web.

11. Discrepancia: esta variable hace referencia a los desacuerdos ideológicos propiamente dichos por parte de los usuarios.

12. Nivel de Satisfacción: esta variable delimitadora, refleja el estado de ánimo de una persona como resultado de comparar el rendimiento percibido de un

producto o servicio con sus expectativas [19]. Un usuario satisfecho vuelve, comunica lo positivo de su experiencia y es leal.

13. Acceso a la red: con el advenimiento tecnológico el acceso a una red de internet es una necesidad; llámese comercio, ocio, investigación, información, tarea, trabajo, etc.; cualquiera que sea la necesidad de la persona.

3. 5 Relaciones y Bucles de Realimentación

-Los bucles que contenga un diagrama son tantos como sea necesario para el modelo. Estos bucles pueden ser de efecto positivo o negativo o ambos, ya que tiende a crear equilibrio.

-Relaciones: representadas de la siguiente manera: El diseño del modelo está sujeto en el nivel de satisfacción o Naturalidad del Sistema.

A continuación se describen las relaciones y la realimentación que genera cada bucle al modelo:

Relación 1. En la primera relación se observa que para que la naturalidad del sistema cumpla con algunas especificaciones culturales sería apropiado incluir cualidades culturales en los patrones de diseño y éstos a su vez aplicarse en la fase de creación de la web, para contribuir a mediar las discrepancias que existen entre si es usable un sitio o no.

El ciclo de realimentación 1. Este modelo que se muestra en la figura No. 3 presenta un bosquejo de secuencia de las relaciones dada entre las variables que lo integran. En este caso se considera como ciclo de realimentación negativo, la relación está compuesta por los patrones de diseño y como éstos mejoran la Interfaz si se le adecúan los atributos de las culturas que se hayan considerado, poniendo atención a la discrepancia que genera la amigabilidad del sitio para unos y no para otros.



Figura No. 3. Bucle de impacto negativo, en el Diagrama Causal

Relación 2. En la siguiente relación se observa que a mayor efectividad del sistema, la usabilidad aumenta, esto conlleva a la existencia de múltiples usuarios generando que se manifiesten cualidades culturales que deben integrarse en los patrones de diseño de

interfaz y aplicarlos en el desarrollo del prototipado buscando un nivel de satisfacción.

En el diagrama de realimentación 2. En la figura No. 4 se muestra un ciclo de secuencia positiva para el modelo propuesto, el cual nos dice que a mayor naturalidad del sistema hay mayor usabilidad de la web generando que hayan usuarios múltiples provocando que se manifiesten sentimientos multiculturales que propician la ocasión para que éstos se incorporen a los patrones de diseño web existentes y se utilicen como herramienta que trata de solucionar la insatisfacción entre el usuario y el uso de las aplicaciones.

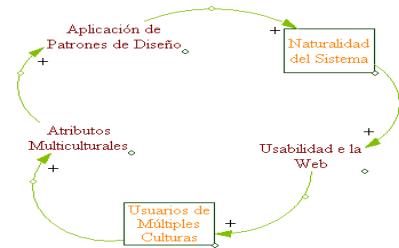


Figura No. 4. Bucle representativo del impacto positivo sobre la multiculturalidad en los diseños web.

Relación 3. Manifiesta la satisfacción en el usuario que genera la naturalidad del uso de la interfaz, causando que haya más propaganda de satisfacción, iniciando a usuarios de múltiples culturas para que utilicen ese sitio, dado que permite satisfacer sus necesidades.

En el gráfico de realimentación 3, que se muestra en la figura No. 5, es una realimentación positiva derivada de otra variable importante dentro del ciclo; si la naturalidad del sistema es clara, hay mayor satisfacción en el usuario y propagación del sitio web gracias a los atributos incluidos en el diseño del sistema y éstos pueden ser utilizados por diversos usuarios.

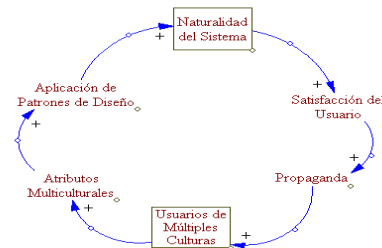


Figura No. 5. Bucle de Impacto Positivo

Relación 4. Continuando con la definición de las relaciones, tenemos que como el crecimiento tecnológico es un hecho real, hay más

internacionalización de la información a la que múltiples usuarios tienen acceso.

Relación 5- Para que la satisfacción en el usuario sea efectiva, debe existir naturalidad en la interfaz.

Relación 6. La necesidad de publicar, nace debido a la internacionalización de la información para que pueda ser utilizada por una pluralidad de usuarios.

Como se ha presentado en la descripción de las relaciones y los bucles de realimentación, hay oportunidad de mejorar la elaboración de los sitios web; como se muestra en las proposiciones descritas, si es necesario adecuar y estudiar los atributos multiculturales para que a la hora de diseñar web se haga pensando en millones de personas que serán los beneficiados finales, ya que todas las personas sienten, piensan y reaccionan de diferentes manera.

4. RESULTADOS

A consideración de los autores, partiendo de las diferentes proposiciones, queda claro que a través del modelado de las relaciones más importantes se puede afirmar la necesidad de incluir en los patrones de diseño de interfaces web atributos multiculturales para que la diversidad de usuarios puedan beneficiarse de los diseños hechos en cualquier lugar; de hecho la idea primordial de la existencia en la web es que la mayoría de los usuarios puedan acceder a la aplicación y mucho más si lo que se muestra repercute en economía.

Además, con el uso adecuado de los patrones de diseños para sitios web, incluyendo los atributos multiculturales, se busca minimizar en parte la barrera existente entre las necesidades del usuario y la interfaz; se considera que a través del modelado en DS se puede tomar una decisión bastante acertada de la necesidad de estudiar un poco más los patrones de diseño para sitios web, tomando en cuenta la pluralidad de usuarios.

En el diagrama causal mostrado y las relaciones existentes dentro de cada uno, se refleja la actitud que tomaría una interfaz de usuarios si se le adecúan los requerimientos necesarios como opción de mejorar la calidad de la información que se desea mostrar en la web.

Con esto no se quiere manifestar que los patrones de diseño son la única herramienta utilizada para tratar de solucionar situaciones especiales que se den dentro del tiempo en que se diseña una web. Hay muchas opciones, pero esto lo decide quien desarrolle

una aplicación. Solo a manera de recomendación se puede decir que son una herramienta muy útil en la búsqueda de soluciones a problemas comunes en el desarrollo de software y otros ámbitos referentes al diseño de interacción o interfaces. Además, los patrones deben comunicar soluciones reutilizables a otros diseñadores y para considerarlo un patrón debe incluir entre sus cualidades específicas y son; que sea efectivo en la resolución a problemas similares en ocasiones diferentes y que se pueda reutilizar en distintas circunstancias cuando se trate de problemas relacionados al diseño [20].

5. CONCLUSIONES

La implementación de modelos a través de los sistemas dinámicos permite estudiar diversas circunstancias complejas de situaciones en las que no se obtiene un resultado satisfactorio, sin antes haber propuesto un modelo mental de lo que se desea obtener.

Con el modelo presentado mediante el uso de Diagramas Causales en este documento, se ha manifestado que existe una estrecha relación entre lo que se diseña y para quien se diseña y que estudiar las diferencias culturales son meramente necesarias, para tratar de evitar caer en ciertos errores que provocarían muchos conflictos y descontentos en los usuarios.

La diversidad cultural existente posee tradiciones culturales arraigadas a su naturaleza; pero no por eso hay que evitarlas, por el contrario, hay que tratar de integrar esos patrones culturales dentro del proceso de diseños web y tratar de unir las creencias culturales de cada usuario.

Esta investigación se ha hecho tomando como referencia las sugerencias que plantean investigadores sobre la necesidad de incluir cualidades culturales en la elaboración de aplicaciones e interfaces web [2, 21-22]. El poner en práctica el uso de los Patrones de Diseño de Multiculturalidad para Sitios Web, es poder beneficiar muchas personas, incluyendo los diseñadores y programadores de software.

Como trabajo futuro sería beneficioso realizar una simulación mediante el uso de la herramienta Dinámica de Sistemas para observar el comportamiento del sistema, considerando los beneficios que se obtendrán si se incluyen atributos multiculturales dentro de los patrones de diseño para sitios web, contando con el estudio de culturas específicas y comprobado estadísticamente; ya que nuestro modelo incluye algunos atributos en el que se

condensan sentimientos y pensamientos de las culturas sin especificarlas por región o país.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FORRESTER, J. Industrial Dynamic Buenos Aires, Argentina, 1961.
- [2] MASSIP, L. et al. (2009) Multiculturalidad e Internalización en sitios web. Avances en Sistemas e Informática.
- [3] LEE, K. C. and LEE, D. H. "An online help framework for web applications," in Proceedings of the 25th annual ACM international conference on Design of communication, El Paso, Texas, USA, 2007, pp. 176-180.
- [4] NORMAN, D. The Invisible Computer: Why Good Products Can Fail, the Personal Computer Is So Complex, and Information Appliances Are the Solution. Cambridge: MIT Press, 1998.
- [5] GAMMA, E. et al., Design Patterns, 1994.
- [6] A. Dix, et al., Human Computer Interaction, 3 ed. Gran Bretaña, 2003.
- [7] ALEXANDER, C. et al., Pattern Language: Towns/Building/Construction. Oxford University Press, 1977.
- [8] ALEXANDER, C. "The Timeless Way of Building," vol. 1, ed. United States, 1979.
- [9] CUNNINGHAM, W. and BECK, K., "Using Pattern Languages for Object-Oriented programs," in Submitted to the OOPSLA-87 workshop 1987.
- [10] REENSKAUG, et al., " Working with objects," in The O Oram Software Engineering Method, 1996.
- [11] GRAND, M. Patterns in Java: A Catalog of Reusable Design Patterns Illustrated with UML, 2nd Edition ed. Indiana, 2002.
- [12] SCOTT, B. and NEIL, T. "Designing Web Interfaces- Principles and Patterns for a Rich Interactions," ed.
- [13] WELIE, M. V. "Patrones de Diseño de Interacción."
- [14] TIDWELL, J. Common Ground: A Pattern Language for Human- Computer Interface Design, 2008.
- [15] MUÑOZ-ARTEAGA, J. et al., "Patrones de Interacción para el diseño de la retroalimentación visual de sitios web seguros," in IX Congreso del Interacción, Albacete, 2008.
- [16] BORCHERS, J. "A Pattern Approach to Interaction Design. ," in Design Interactive System, 2000, pp. 369-378.
- [17] MAHEMOFF, M. and JOHNSTON, L. "Pattern languages for usability: An investigation of alternative approaches.," in the Asia Pacific Computer Human Interaction, 1998.

- [18] MARCUS, A. "Cross-cultural user-interface design for work, home, play, and on the Way," in ACM Special Interest Group for Design of Communications, 2001, pp. 17-18.
- [19] KOTLER, P. Dirección de Mercadotecnia. México, 1996.
- [20] WILL, F. "Models for Cross-Cultural Communications for Cross-Cultural website Design.," National Research council Canada, pp. 1-11, 2004.
- [21] MARCUS, A. "User-Interfaces Design, Culture, and the Future," in Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, Trento, Italy, 2002, pp. 15-27.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido apoyado por una beca de investigación financiada por el BID, SENACYT Y Universidad Tecnológica de Panamá.

8. CURRÍCULUM

-Iris Mariela González



Estudiante de Maestría en Ciencias de Tecnología de la Información y Comunicación, Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá. Al igual

que Isabel Leguías, Leovigildo Bósquez y Felipe McCalla

-Ing. Humberto R. Álvarez A. PhD.

Graduado como Ph.D. en Ingeniería Industrial de la Universidad de Missouri-Columbia en el 2002, ha desempeñado diversos cargos en el ámbito académico y profesional.

Áreas de interés: Modelación Dinámica de Sistemas organizacionales, análisis de sistemas, reingeniería, simulación, cambio organizacional, toma de decisiones y sistemas estocásticos, entre otras.

Análisis del MDITVDi para adultos mayores utilizando Dinámica de Sistemas

Analysis of MDITVDi for older adults using System Dynamics

Eugel Prosper C., Ing y Humberto Álvarez, PhD^{1,2}

^{1,2}Universidad Tecnológica de Panamá

eugel.prosper@utp.ac.pa, humberto.alvarez@utp.ac.pa

Resumen: en este trabajo se analiza desde la perspectiva de Dinámica de Sistemas la estructura causal del Modelo para el Diseño de Interfaces de TV Digital Interactiva (MDITVDi) con sus diferentes variables que lo conforman, enfocándolo a las necesidades inherentes a una población marginada de usuarios de nuevas tecnologías como lo son los adultos mayores. La Dinámica de Sistemas desde este punto de vista busca no solo estudiar el comportamiento de las distintas variables, sino los cambios que se pueden observar en el transcurso del tiempo, para ajustar el diseño de interfaces, para hacerlas adecuadas, usables y accesibles a los adultos mayores. Para ello se desarrolla el diagrama causal con el que se desarrollan las hipótesis que validan el modelo y nos muestran su comportamiento en el transcurso del tiempo.

Palabras clave: adultos mayores, diagrama causal, Dinámica de Sistemas, diseño de interfaces de TV digital interactiva, usabilidad.

Abstract: The causal structure of the Model for the Design of Interactive Digital TV interfaces is analyzed in this work from the perspective of System Dynamics with different variables that make up, focusing on the inherent needs of an users underserved population of new technologies as are older adults. System Dynamics from this point of view seeks not only study the behavior of different variables, but changes can be observed over time, to adjust the design of interfaces to make them suitable, usable and accessible to adults older. For this reason will develop the causal diagram which implements the assumptions that validate the model and show its behavior over time.

Key words: causal diagram, system dynamics, interface design interactive digital TV, older adults, usability.

1. INTRODUCCIÓN

La adopción de la televisión digital (DTV) repercute, de manera óptima, tanto en el desenvolvimiento como en el entretenimiento y educación de la sociedad, ya que brinda una serie de aplicaciones y servicios que son interactivos [1]. La interacción es una característica de la televisión digital, por la que se denomina con el término televisión interactiva [2]. Esta viene tomando lugar desde hace unos años atrás, y está definida como una televisión de dos vías en la cual el televidente puede hacer elecciones de programación y producir entradas de datos de usuario [1]. Entrada de datos es todo lo que el usuario, en un momento dado, brinda al sistema, para producir un efecto o conseguir que el sistema interactivo realice una función. Entonces en perspectiva, la televisión interactiva presenta una serie de características que permiten al usuario controlar, dar o intercambiar información.

Por otra parte, existe hoy día una población que ha sido marginada en varios aspectos, pero especialmente en el uso de nuevas tecnologías de entretenimiento y educación como lo es la TVDi (Televisión Digital Interactiva) y sus servicios interactivos. Esta población es la de adultos mayores, que son personas que han llegado a una edad de jubilación o de ancianidad, teniendo ciertas limitaciones, tanto físicas como cognitivas, y también de destreza manual [3] que se traducen en dificultades para utilizar los nuevos modelos de interfaces de TVDi. Esto nos indica un problema que puede traducirse en un rechazo al uso de la TVDi por

parte de los adultos mayores, por lo que es necesario plantear, a través de investigaciones realizadas, un modelo para el diseño de interfaces de TVDi en donde el adulto mayor sea el elemento participativo y de preponderancia en la consecución de interfaces de TVDi usables, accesibles, generadoras de confianza, y atractivas para esta población.

Los elementos o variables involucradas en el modelo para el diseño de interfaces de TVDi, que beneficia a los adultos mayores, están estrechamente relacionadas e interactúan de tal manera que pueden verse como un sistema complejo, en donde la variable resultante esperada es un diseño adaptado al usuario, en un tiempo indeterminado (dado los diferentes factores), y en donde el prototipo se ajusta para obtener un desarrollo e implementación de la interface de TVDi más óptima y aceptable. Dado esto, el modelo para el diseño de interfaces de TVDi se puede analizar desde la perspectiva de Sistemas Dinámicos, la cual brinda una metodología para estudiar el comportamiento de las diferentes variables del modelo y describir el modelo como un sistema real, antes de aplicarlo a un escenario en particular, en este caso, el de diseño de interfaces de TVDi usables y accesibles a los adultos mayores, que representan la variable “usuarios” que retroalimenta a las otras variables en el sistema del MDITVDi (Modelo para el Diseño de Interfaces de Televisión Digital Interactiva).

En este trabajo analizamos el MDITVDi desde la perspectiva de Dinámica de Sistemas para poder aprender sobre las interacciones que puede haber entre las diferentes variables. Adicional, es preciso estudiar el comportamiento del sistema en el transcurso del tiempo, dado que las variables están definidas como elementos que pueden cambiar en el tiempo afectando en mayor o menor grado a las otras. Con el concepto esquematizado de la DS (Dinámica de Sistemas) se puede no solo observar, sino representar y analizar el sistema completo, y de esta manera hacer los ajustes necesarios a los diferentes componentes del sistema que se estudia, siendo esto el objetivo principal de este trabajo. Ahora pasamos a describir el Modelo para el Diseño de interfaces en la TV Digital Interactiva.

2. EL MDITVDi

El Modelo para el Diseño de Interfaces de TV Digital Interactiva es una guía de procesos que tienen como fin obtener una interfaz no solo robusta para el usuario, sino que sea usable, cubriendo elementos multiculturales [4]. Este modelo para el diseño de

interfaces en la televisión interactiva tiene como característica definir procesos que permiten un desarrollo y consecución de las aplicaciones interactivas, pues se sigue una ruta de diseño. Esto tiene ventajas, tanto para el usuario como para el desarrollador o diseñador de los sistemas interactivos. Para los usuarios tiene las siguientes ventajas:

- Permite un mejor rendimiento.
- Reduce errores en la utilización.
- Reduce el tiempo de entrenamiento.
- Fomenta una mejor utilización del sistema.
- Mejora la satisfacción.
- Mejora la aceptación del sistema.

Para los diseñadores o desarrolladores del sistema interactivo es de valor e importancia seguir un modelo para el diseño de interfaces porque:

- Aumenta la visibilidad de la interfaz hombre-máquina.
- Simplifica el diseño.
- Proporciona más ayudas de diseño y programación, reduciendo el tiempo de programación.
- Reduce el esfuerzo redundante.
- Reduce el tiempo de entrenamiento.
- Proporciona un punto de referencia para pruebas de control de calidad.
- Reduce costos de desarrollo y soporte.
- Minimiza inconsistencias de diseño.

Se tiene una gran ventaja porque se sigue una línea de procesos fácil y clara que permite hacer los ajustes en el diseño, corrigiendo errores, y evaluando cada paso con la retroalimentación del usuario, ya que se desea que el modelo logre alcanzar una interfaz usable por medio del diseño centrado en el usuario, pero también tomando en cuenta la parte afectiva ante la interfaz y el aspecto multicultural [4]. Además, cabe mencionar que debido a la influencia de los diferentes factores del modelo, los procesos se pueden dar secuencialmente o simultáneamente, ya que a medida que se diseña se toman en cuenta los requerimientos del usuario, pero también se toman en cuenta los lineamientos y la evaluación que éste le da al prototipo, afectando el diseño en general, y por lo tanto al desarrollo de la interface como resultado esperado de los procesos realizados.

2.1. ASPECTOS DEL MDITVDi

Los aspectos relevantes en el MDITVDi están relacionados con los lineamientos para el diseño de la interface de TVDi. Estos aspectos son los siguientes:

- *Navegación:* Según Marcus et. al. [5] es moverse a través de las metáforas mentales, o sea el

contenido y las herramientas, por ejemplo los menús, los paneles de control, los íconos y ventanas. Para Collazos et. al. [6] la navegación debería guiar al observador, enseñándole lo que se puede y no se puede hacer.

- *Interacción:* Son las diferentes técnicas de entrada/salida, que incluyen retroalimentación en las interfaces [5], por ejemplo, los dispositivos periféricos, ratón, teclado y micrófonos. También esta característica permite a los usuarios controlar sus experiencias como espectador [6].

- *Multiculturalidad:* Es el aspecto determinante en la influencia que ejerce la interfaz en su aceptación y uso por parte del usuario, debido a la significancia o percepción de las metáforas mentales, imágenes, colores, íconos y otros elementos, de acuerdo a su cultura, y que pueden estar (diferentes culturas) dentro de una misma área geográfica [7].

- *Accesibilidad:* Abarca los elementos o pautas de diseño a seguir para lograr una interfaz de usuario fácil de usar, abordando la adaptación de la interfaz a las limitaciones del usuario, las cuales pueden ser técnicas (de experiencia tecnológica), físicas o cognitivas.

Con estos aspectos se tratan de cubrir principalmente las características necesarias para que la interface tenga aceptación, pero también el enfoque adecuado a los diferentes contextos que se puedan dar para la óptima aplicación del MDITVDi. Ahora pasaremos a ver qué necesidades tienen los adultos mayores en su entorno y las limitaciones en su desenvolvimiento ante las nuevas tecnologías como la TVDi.

3. NECESIDADES Y LIMITACIONES DE LOS ADULTOS MAYORES

Los adultos mayores han demostrado tener ciertas limitaciones, no tan solo físicas, sino cognitivas para utilizar las nuevas tecnologías de la información y comunicación [8]. Actualmente, con el advenimiento de una nueva plataforma digital de televisión, la TVDi, que introduce un canal de retorno para la interacción y mejora la calidad de audio y video, se ha producido una mayor demanda de diseño e implementación de interfaces de TVDi que sufragan los problemas o limitaciones de las personas con edad avanzada.

Rice y Boyle et. al. [9, 10] tratan con el tema del diseño inclusivo para beneficiar a los adultos mayores en el uso de la TVDi y sus servicios. [9]

explora un rango de metodologías y enfoques interactivos diseñados para apoyar a los adultos mayores, los cuales presentan dificultades en la utilización de los actuales modelos de interfaces para la TV Digital Interactiva. Adicional el trabajo de [10] trata con la consideración de los requerimientos de los usuarios de la tercera edad, para producir una mayor independencia, no solo en el uso del sistema de TV interactiva, sino en las actividades del diario vivir; busca promover el diseño inclusivo en los proveedores de servicios.

Las limitaciones de esta población o grupo social se encuentran en la lista de las siete categorías de [11] evaluación de la capacidad de las personas y que ayudan a medir el nivel de habilidad que un producto exige para utilizarlo. Estas categorías son:

- La visión es la capacidad de utilizar el color y el brillo de la luz para detectar objetos, discriminar entre diferentes superficies, o el detalle sobre una superficie;

- La audición es la capacidad de discriminar tonos específicos del habla o del ruido ambiente y decir de dónde vienen los sonidos a partir;

- El pensamiento es la capacidad de procesar la información, que la atención se mantenga, almacenar y recuperar recuerdos y seleccionar las respuestas adecuadas y acciones;

- La comunicación es la habilidad para entender a otras personas, y expresarse con los demás (lo que inevitablemente se superpone con la visión, la audición y el pensamiento);

- Locomoción es la capacidad de moverse, agacharse, subir escalones, y el desplazamiento del cuerpo entre de pie, sentados y de rodillas;

- Alcance y estiramiento es la capacidad de poner uno o ambos brazos hacia el frente del cuerpo, por encima de la cabeza o detrás de la espalda;

- Destreza es la capacidad de una o ambas manos para realizar la manipulación de finos de los dedos, coger y transportar objetos, o agarrar objetos y apretar.

Debido al proceso de envejecimiento de los adultos mayores se producen las limitaciones; no solo en la utilización de nuevas tecnologías de información [12], sino para su desenvolvimiento diario. Principalmente las discapacidades de visión, audición y de destreza, son las que no permiten que un adulto mayor pueda utilizar, sin frustrarse y sin errores, las interfaces de usuarios como las que se producen para la televisión digital interactiva [9].

4. SITUACIÓN MUNDIAL Y REGIONAL

Los adultos mayores de 60 años representaban, según [13], aproximadamente el 10% de la población

mundial en el 2006, siendo un grupo demográfico que crece a una tasa de 2.5% más rápido que el resto de la población. Esto implica que según los cálculos y estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas (O.N.U.), la población adulta mayor de 60 años se triplicará, aproximadamente de 705 millones a casi 2.000 millones en el 2050, alcanzando aún una población mayor que la población infantil, siendo los actuales infantes los que para el 2050 representarán esa población anciana [14].

En la región de Latinoamérica y el Caribe se tiene que la población de adultos mayores estaba representada por una cantidad de 50 millones de personas mayores de 60 años [13], hasta el 2006, o sea 1 de cada 10 personas era un adulto mayor, pero se prevé que dentro de 15 años se incremente el porcentaje de 10% - 12% aproximadamente a 32% de la población. En este marco demográfico para el adulto mayor, los estudios han demostrado que el 50% de esta población padece de una salud pobre y el 20% presenta limitaciones en las actividades de su vida cotidiana. Todo esto nos hace pensar en las necesidades y requerimientos inherentes que se producen actualmente y se seguirán generando para la buena utilización de las interfaces de la televisión interactiva por parte de los adultos mayores. Es por ello que se necesita analizar y obtener un modelo que ayude a la realización de interfaces para la TVDi y que sufrague las necesidades de una población que ha sido marginada del enfoque tecnológico en esta era de la información.

5. DINÁMICA DE SISTEMAS COMO METODOLOGÍA

Es necesario definir la metodología para tratar con el problema en el diseño de interfaces de TVi para los adultos mayores, por lo que escogemos observarlo, y analizarlo utilizando la Dinámica de Sistemas que permite esquematizar el flujo de influencias (diagrama causal) entre las variables, y así observar el efecto que se produce en ellas.

La Dinámica de Sistemas según [15] es un punto de vista y un conjunto de herramientas conceptuales que nos permiten entender la estructura y la Dinámica de Sistemas complejos. La Dinámica de Sistemas es también un método de modelado riguroso que nos permite construir simulaciones formales por ordenador de sistemas complejos, y usarlas para diseñar políticas y organizaciones más eficaces. O sea, desde la perspectiva de DS se pueden analizar las relaciones e influencias que existen entre las variables de un sistema y de esta manera observarlo

en simulación, aplicado a un contexto real, lo que permite hacer ajustes al parecer de las organizaciones o individuos que la aplican para lograr un objetivo.

Esta metodología inicialmente se concibió para resolver problemas relacionados a la industria o en determinadas empresas en las que los retrasos en la transmisión de información, unido a la existencia de estructuras de realimentación, daban lugar a modos de comportamiento indeseables, normalmente de tipo oscilatorio [16]. Los estudios y análisis de este tipo de sistemas los realizó Jay Forrester, finalizando los años 50, y durante los años 60 tiene lugar su implantación en el ámbito profesional. Inicialmente se le denominó dinámica industrial, luego dinámica urbana, pero debido al informe o estudio solicitado por el Club de Roma sobre los límites al crecimiento, el cual se basó precisamente en un modelo de Dinámica de Sistemas, en el que se analizaba la previsible evolución de una serie de magnitudes agregadas a nivel mundial como son la población, los recursos y la contaminación, se le denomina Dinámica de Sistemas, debido al enfoque más generalizado y multisectorial (ciencias sociales, ecología, economía, TICs, y otras áreas del saber humano) que se le puede dar y que este último estudio abordó.

La DS utiliza los diagramas causales para representar las relaciones y efectos de las variables del sistema complejo. Estos diagramas también son importantes herramientas porque representan las estructuras de realimentación de los sistemas [15]. Se les denomina también diagramas de bucles causales y son excelentes para:

- Rápidamente capturar nuestra hipótesis sobre las causas de la dinámica.
- Obtener y capturar los modelos mentales de los individuos o de los equipos.
- Comunicar las retroalimentaciones importantes y que creemos son responsables del problema.

Estos pueden tener bucles positivos y negativos, teniendo estos últimos un efecto contrario a los bucles positivos, los cuales tienden a producir inestabilidad en el modelo del sistema a tratar.

Para llevar un orden en el desarrollo de la temática de análisis del modelo para el diseño de interfaces de TVDi para adultos mayores desde la perspectiva de la Dinámica de Sistemas, utilizaremos el siguiente esquema:

- *Articulación del Problema:* Delimitamos el problema, describiendo el problema, las variables importantes involucradas y el planteamiento dinámico del problema, o sea, el enfoque del problema en el tiempo, sea presente o futuro. Se definen las relaciones entre las diferentes variables.
- *Formulación de la hipótesis:* Esta puede estar compuesta por otras hipótesis. Se puede definir una generalizada y otras complementarias.
- *Esquema o Mapeo Causal:* Se realiza la estructura causal tomando en cuenta la hipótesis planteada, las variables clave, y otros datos disponibles que sean de referencia. Utilizaremos un diagrama causal para analizar las relaciones y el comportamiento de las variables.
- *Evaluación del Modelo:* Comprobación de la hipótesis, describiendo las perspectivas esperadas con el diagrama causal, de tal manera que nos lleve a un análisis de la validez del modelo con respecto al tema del diseño de interfaces de TVDi en el contexto de los adultos mayores.
- *Rendimiento del Modelo:* Con éste se busca plantear las políticas o recomendaciones a los diferentes escenarios o contextos a implementarse con el modelo. Por ejemplo, que modificaciones a los lineamientos para el diseño de interfaces de TVDi se pueden hacer para mejorar la calidad de éstas, dado el escenario de la usabilidad para adultos mayores. Ahora pasaremos a tratar con la dinámica del problema en sí y las diferentes etapas que nos llevarán a los resultados de este trabajo de investigación e implementación de la Dinámica de Sistemas.

5.1. ARTICULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema a tratar como antes mencionamos, es el problema del diseño de interfaces de TVDi para personas mayores o de tercera edad, que se encuentran marginadas en un buen porcentaje de las nuevas tecnologías de la información, debido a la carencia de interfaces usables y accesibles a ellos, dado que presentan limitaciones y/o discapacidades físicas y aún cognitivas. Entre las discapacidades físicas se encuentran la poca visión de uno o los dos ojos, debido a algún desgaste ocular o enfermedad crónica. También está la destreza de manos que no les permite tener una buena accesibilidad con el uso de los controles remotos. En la parte cognitiva, se encuentra la reacción lenta o tardía ante el intercambio de información, y la baja memoria, la que impide muchas veces que se recuerde una trayectoria, acontecimiento, o una instrucción en el caso de las interfaces de aplicaciones. Es necesario ver las diferentes variables que competen para que el modelo de diseño de interfaces de TVDi beneficie el

desarrollo cognitivo y de entretenimiento de los adultos mayores, aparte que permiten la definición de la problemática a tratar de una manera estructurada. Mencionaremos a continuación las variables involucradas y sus relaciones o influencias entre sí.

- *Diseño de Interfaz:* es la variable auxiliar que determina o representa el diseño como un todo. Cuantifica la evolución o construcción del diseño por la aceptación del usuario. Además, ésta encierra los requerimientos del cliente de la interface, así como sus componentes de identificación. Esta variable está relacionada con el prototipo (ajustado), ya que depende que si el diseño se encuentra en marcha o más desarrollado, entonces el prototipo estará más ajustado a los requerimientos de los adultos mayores. También interactúa con la variable Desarrollo e Implementación, debido a que el diseño de la interfaz incrementa el desarrollo e implementación de la interface de aplicación en la plataforma tecnológica, la cual es la TV Digital Interactiva.
- *Lineamientos:* es una variable auxiliar que indica el número de factores a considerar para el prototipo y la aceptación del usuario. Adicional, con los lineamientos se desea cubrir los aspectos relevantes de la ingeniería de usabilidad. Esta variable también suma aspectos diversos, como el de navegación, el de interacción, accesibilidad en la interface y el aspecto a considerar principalmente, el de multiculturalidad. Esta variable del sistema o modelo está relacionada con el prototipo (ajustado) ya que le brinda directamente las directrices a seguir para la navegación, interacción, multiculturalidad y accesibilidad, lo que produce que el prototipo sea más ajustado para el usuario, y que tenga más aceptación y más usabilidad.
- *Interacción y Navegación:* son dos variables auxiliares que determinan el grado de interacción y también de navegación que puede tener el usuario (adulto mayor) dado su limitación física o cognitiva. La variable de interacción determina el flujo de intercambio de información entre el usuario y la interface, o sea que la interacción debe estar al grado adecuado para no producir carga cognitiva o restringir el uso por alguna limitación física, dándole usabilidad al sistema. La navegación indica en qué grado el usuario puede navegar o recorrer sin problemas o errores la interface de TVDi.
- *Multiculturalidad:* es una variable auxiliar que abarca los elementos importantes para generar la confianza de uso, y aceptación de la interfaz ante la forma en que el usuario percibe las cosas, su

significancia y relevancia, además del sentido adecuado que se le da a las formas, figuras, textos, o símbolos en la interfaz interactiva. Se puede cuantificar en el índice de aplicación (dimensión cultural) para un usuario en particular, dado su posición geográfica. Los elementos de multiculturalidad se deben dar porque existe un sin fin de personas de la tercera edad en diferentes partes del mundo, teniendo su propio contexto cultural, por lo que se debe adaptar la interfaz para cubrir estos aspectos.

- *Accesibilidad:* esta variable auxiliar está relacionada con los lineamientos. Indica cuántos y cuáles factores se deben considerar para un fácil uso de la interfaz. La confortabilidad se produce en el adulto mayor con discapacidad cuando puede utilizar la interface sin carga mental, cuando las metáforas son claras, sin doble sentido, y la interfaz es intuitiva para su capacidad cognitiva. Esta variable influye en los lineamientos dado que se debe tomar en cuenta para el diseño, pero también ella es influenciada por la magnitud de las limitaciones FC (Físicas o Cognitivas) del usuario.

- *Aceptación Usuario:* variable de estado o nivel cuya evolución o incremento es significativo para obtener un diseño acorde a las necesidades o requerimientos del usuario, en este caso el adulto mayor. El usuario es el elemento preponderante en el diseño de la interfaz ya que añade los ajustes y especificaciones al contenido de la interfaz, con las restricciones de los lineamientos, dándole forma al diseño y haciendo la retroalimentación al diseño con la evaluación en cada proceso de éste. El usuario evalúa el prototipo para que se hagan los ajustes pertinentes al mismo, y esto a la vez produce la aceptación para utilizar la interfaz de TVDi sin frustraciones.

- *Prototipo Ajustado:* variable de estado o nivel que se brinda para cuantificar el ajuste o corrección del prototipo de la interface para las personas mayores. El prototipo es la implementación parcial pero concreta del sistema o una parte del mismo que principalmente se crea para explorar cuestiones sobre aspectos muy diversos del sistema durante el desarrollo del mismo. Está ligado a la evaluación debido a que ésta determina la corrección o ajuste del diseño de manera que se cumpla con los lineamientos de usabilidad. Es una forma económica de observar las características de la interface en función y ejecución. Este es el objeto de la evaluación realizada por el usuario y los expertos,

para darle la corrección y ajuste pertinente al prototipo de interfaz.

- *Evaluación:* es una variable auxiliar que proporciona el grado de ajuste al prototipo. En el enfoque del MDITVDi como tal, dado los aspectos que definen los lineamientos, para la evaluación se pueden utilizar heurísticas de manera que se indague el diseño a través de su prototipo en sus diferentes procesos. Existe una interrelación con el prototipo debido a que no se puede llegar al desarrollo hasta que se ajuste por completo el prototipo de acuerdo a los objetivos y los lineamientos de la interface de TVDi para satisfacer al usuario. En nuestro caso, utilizamos la evaluación heurística por considerarla más factible, económica y rápida.

- *Limitaciones FC del Usuario:* esta es una variable auxiliar que se puede definir como una constante, para indicar el grado o cantidad de limitaciones Físicas o Cognitivas (FC) del adulto mayor como usuario de las interfaces de TVDi. Estas limitaciones pueden ser las mismas que se han mencionado anteriormente como la disminución visual, auditiva o motora y las limitaciones cognitivas que tienen que ver con la memoria, la capacidad de reacción y aprendizaje. Esta variable influye negativamente a las variables de navegación, interacción, multiculturalidad y de accesibilidad, debido a que las disminuye y también dado que las limitaciones FC no permitirán que el usuario utilice la interfaz de una manera óptima, por lo que debe ser considerada esta situación en los lineamientos y en su relación con el prototipo ajustado y la variable de aceptación del usuario.

- *Desarrollo e Implementación:* esta es una variable auxiliar importante, ya que nos permite cuantificar la proporción necesaria para llevar a cabo la construcción del sistema interactivo de TVDi y su interfaz de usuario que se va ajustando por la evaluación y el diseño en general. Este proceso es determinante, pues se culmina la etapa de diseño para entonces implementar técnicas de programación de software para la creación de interface real a ser utilizada en algún canal de TV digital local, cumpliendo de esta manera el objetivo. Cabe señalar que esta variable no es un punto focal (significativa u objeto de estudio) en este modelo, pues se desea estudiar el efecto de los componentes del modelo en sí, antes de llegar a este proceso.

En la figura 1 mostramos el diagrama conceptual de este sistema que plantea diferentes variables para lograr el objetivo.

Por otra parte podemos agregar que los adultos mayores han mostrado a largo plazo la necesidad de desarrollarse más como personas, y la TVDi puede ocupar un lugar no solo para entretenimiento de ellos, sino de compañerismo y sociabilidad [17]. Los elementos aquí descritos tienen como objetivo central satisfacer los aspectos inherentes a la utilización de las interfaces dado el contexto de personas con esas limitaciones que se dan por la vejez.

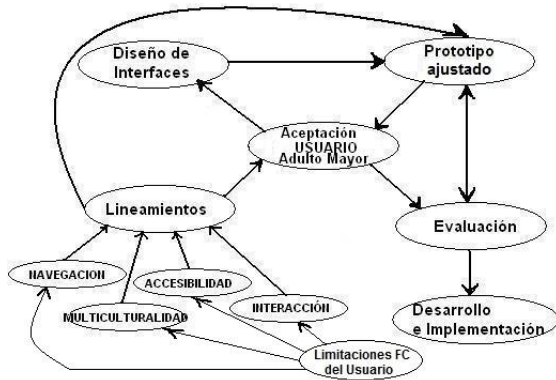


Figura 1. Diagrama conceptual del MDITVDi.

En esta etapa también se han detallado los elementos que forman el sistema, lo que conduce de manera natural al establecimiento de los límites del sistema y a una descripción primaria de los bucles de realimentación. Por lo tanto se brinda, de esta manera, el diagrama conceptual del sistema, por lo que se puede dar por terminado esta etapa de estructuración o articulación del problema.

5.2. FORMULACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

Las hipótesis, dado la dinámica del sistema aquí descrito, buscan construir las bases para validar el modelo de tal manera que cuando se evalúa el modelo, las hipótesis cobran sentido y se pueden llegar a conclusiones claras y precisas, en cuanto al rendimiento y sensibilidad del modelo. Las hipótesis que se generan para este modelo son:

H1: al tener un Prototipo Ajustado a los requerimientos del adulto mayor se produce aceptación de parte de éste a la interface incrementando el diseño de interface.

H2: la magnitud del ajuste del Prototipo influye en la evaluación de la interface.

H3: la aceptación para el usuario de la interface influye en la cantidad de evaluaciones a la interface para ajustar el prototipo.

H4: la aceptación de la interface por el usuario (adulto mayor) influye o tiene relación con el diseño en general de la interface para llegar a un mayor

desarrollo o implementación de la interface de aplicación.

Ahora podemos desarrollar el diagrama causal para analizar el comportamiento de las variables.

5.3. ESQUEMA CAUSAL Y DIAGRAMAS CAUSA-EFECTO

Dadas las hipótesis antes mencionadas, que se basan principalmente en el planteamiento del problema a resolver, y que nos dan la idea de las relaciones entre las diferentes variables del modelo, podemos desarrollar el mapeo de la estructura causal basada en las hipótesis desarrolladas, y las variables de estado. Todo esto nos indicará, como hemos mencionado, el modelo mental y las retroalimentaciones que nos muestran los problemas o el problema inherente al diseño de interfaces de TVDi para beneficiar a los adultos mayores. La figura 2 es el diagrama causal de este modelo de sistema dinámico que describe la situación y relaciones de las variables del MDITVDi.

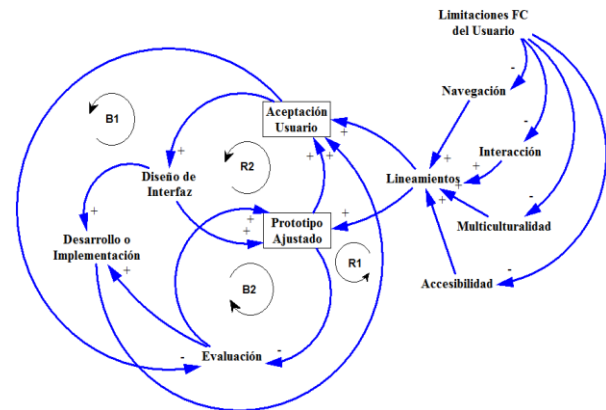


Figura 2. Diagrama Causal del Sistema o Modelo Propuesto.

Para tener una idea más clara del efecto e influencia de las diferentes variables del modelo que tienen participación en un menor o mayor grado en el problema que se plantea, deseamos mostrar el diagrama de causa-efecto, el cual es un instrumento eficaz para el análisis de las diferentes causas que ocasionan el problema. Su ventaja consiste en el poder visualizar las diferentes cadenas Causa y Efecto, que pueden estar presentes en un problema, facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas [15]. En la figura 3 se muestra el diagrama de causa efecto obtenido para este modelo desde la perspectiva de la variable Prototipo Ajustado.



Figura 3. Diagrama de Causa – Efecto dado la variable de estado Prototipo Ajustado.

Cuando vemos el anterior esquema (figura 3), podemos analizar el efecto que tienen las diferentes variables sobre esta variable de estado o nivel. Es evidente a través de este esquema que el Diseño de Interfaces, la Evaluación y los Lineamientos influyen positivamente sobre el Prototipo Ajustado como elemento importante en el MDITVDi. Solo existe una retroalimentación para esta variable, que es con la variable auxiliar de Evaluación. Esto es debido a que se va a ajustar el prototipo a medida que se van detectando fallas realizadas por el usuario o los expertos evaluadores de la interfaz de TVDi.

Por otro lado, el figura 4 se tiene el diagrama causal para la variable de estado Aceptación Usuario. En este diagrama vemos que los elementos que influyen en la aceptación del usuario son el Prototipo Ajustado, Desarrollo e Implementación y los lineamientos. El Prototipo Ajustado permite la adaptación del usuario a la interfaz de TVDi, por lo que el usuario la aceptará y la adaptará según sus necesidades. También los lineamientos ayudan a delimitar lo que el usuario necesita, dado la navegación, la interacción, grado de multiculturalidad y de accesibilidad imprescindibles para que el usuario tenga una interfaz usable. Por último, la variable Desarrollo e Implementación solo tendrá su aporte al final, cuando ya se ha ajustado el prototipo, haciendo la prueba de uso y evaluación más real para el usuario, ya que se desarrolla e implementa la interfaz en la TVDi como plataforma tecnológica. Cabe mencionar que estos diagramas fueron realizados con el software Vensim.

5.4. EVALUACIÓN DEL MODELO

El diagrama causal nos indica las relaciones y los efectos de las variables o elementos del modelo, ayudando a entender el modelo mental que se produce y a evaluar cualitativamente y cuantitativamente el modelo que se ha desarrollado. Por lo tanto, partiendo de esta premisa, podemos indicar lo siguiente:

- Que existen dos variables de estado, para alcanzar los objetivos del modelo y resolver los problemas inherentes a la utilización por parte del

usuario (el adulto mayor). Una es la Aceptación del Usuario a la interface, y la otra es la de Prototipo Ajustado.

- En el modelo se han producido 4 bucles de realimentación. Dos bucles de realimentación positiva, comúnmente denominados bucles de refuerzo (Ri) y los otros dos son bucles de realimentación negativa, comúnmente denominados bucles de balance (Bi).

- La variable “Lineamientos” está basada en las variables cuantitativas y cualitativas de Navegación, Interacción, Multiculturalidad y Accesibilidad. Estas 4 variables determinan los ajustes sobre el prototipo, y buscan alcanzar la aceptación por parte del usuario, en este caso el adulto mayor.

Lo anterior nos permite ver claramente dónde se puede iniciar la evaluación del modelo. Iniciaremos por los bucles de reforzamiento y balanceo.



Figura 4. Diagrama de Causa – Efecto de la variable de estado Aceptación Usuario.

5.4.1. Bucles de Reforzamiento y Comprobación de Hipótesis

Los bucles de realimentación positiva son los bucles en que todas las influencias son positivas. Un estado determina una acción y éste a la vez refuerza el estado, y así se mantiene indefinidamente. En la figura 2 tenemos que R1 está determinado por la variable de Aceptación de Usuario que refuerza el Diseño de Interfaz aumentando su capacidad en general para luego producir un mayor Desarrollo e Implementación de Interfaces. Este bucle representa un comportamiento exponencial en el tiempo, por lo que a mayor aceptación del usuario, en este caso el adulto mayor, mayor será el desarrollo e implementación de interfaces de este tipo. Por lo tanto queda demostrada la hipótesis H4.

El otro bucle R2 es un bucle también de reforzamiento y está determinado por la variable de Aceptación del Usuario, que refuerza a la de Diseño de Interfaz, pero esta refuerza a la variable de Prototipo Ajustado, que nos indica que a un mayor diseño de interfaces, se tendrá un Prototipo Ajustado incrementado en el tiempo y por ende una mayor

Aceptación por parte del usuario. La variable auxiliar Lineamientos también refuerza a las variables Aceptación Usuario y a Prototipo Ajustado, aunque no está en un bucle con estas variables de estado, las influencia positivamente, haciendo que éstas se cumplan a un mayor grado en el transcurrir del tiempo. Todo esto demuestra la hipótesis H1.

5.4.2. Bucles de Balance y Comprobación de Hipótesis

Los bucles de realimentación negativa o de balance son bucles que representan un tipo de situación muy frecuente en el que se trata de decidir acciones para modificar el comportamiento con el fin de alcanzar un determinado objetivo, aportando un esquema básico de todo comportamiento orientado a un objetivo [16]. Este bucle tiene como característica predominante, que si uno de sus elementos es perturbado por una acción externa, en virtud de su estructura de balance, este bucle tiende a anular tal perturbación, buscando la estabilidad. Por ello se le llama bucle de balance.

Cuando observamos la figura 2 encontramos dos bucles de balance. B1 indica que la Aceptación de parte del Usuario influye en la cantidad de Evaluación que se haga sobre el Prototipo, o sea que mientras haya una Aceptación de Usuario será menos la Evaluación para alcanzar un Prototipo ajustado. Dado esto, podemos dejar por comprobada la hipótesis H3 que este bucle maneja, indicándonos la acción que realiza el modelo en esta etapa. Esto también ayuda a tomar decisiones que afectan positivamente el prototipo para beneficio del usuario. Por último, en el bucle de balance B2 tenemos una realimentación clara de la evaluación sobre el prototipo y su ajuste. Esta es evidente porque a un menor Prototipo ajustado, mayor será la Evaluación sobre el prototipo, ya que a través de su evaluación se tiene una interface más aceptable al usuario para cubrir sus necesidades y limitaciones, obteniendo un buen rendimiento. Esto comprueba la hipótesis H2, por lo que en este bucle se resalta una vez que el modelo es eficaz para el escenario planteado.

Dado todo lo anterior, se puede concluir que una interfaz usable de TVDi para los adultos mayores, está condicionada por un prototipo ajustado y la consecuente aceptación del usuario. Quedando la primera variable como la variable de estado, en menor grado, dependiente del usuario, enfocándose más en los lineamientos para la interfaz, debido a las limitaciones FC del usuario.

5.5. RENDIMIENTO DEL MODELO

El rendimiento o explotación del modelo se da por las recomendaciones de políticas que ajusten aún más el modelo desarrollado. Debido al problema relacionado al uso y diseño de las interfaces, es necesario tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

- Explorar nuevas formas de recolección de información de requerimientos y necesidades de los usuarios de las interfaces de TVDi, ya que esto permite nuevos puntos de vista, nuevos escenarios para lineamientos que ayudan a una mejor y más usable interface.
- El problema con los adultos mayores tiene que ver más con su capacidad de interacción con la misma, por lo que cabría tomar en cuenta los dispositivos de mando a distancia, y su modelamiento en el prototipo.
- Realizar más evaluaciones del modelo para otros contextos de tareas o servicios especificados o en particular para un tipo de usuario.

El modelo aquí planteado tiende a madurar con el tiempo, busca su propio balance ajustando el prototipo de la interface, produciendo aceptación en el usuario y por ende un mejor diseño de interface en general.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La Dinámica de Sistemas es una metodología esquemática y científica para describir y explorar el comportamiento de los sistemas con sus diferentes variables que interactúan unas con otras, haciendo que el sistema presente tendencia en el transcurso del tiempo. Estas tendencias determinan problemáticas que necesitan ser cubiertas con la explotación del modelo para tomar políticas o sugerencias que lleven a mejorar o subsanar errores en los diseños o implementaciones de sistemas complejos.

Nuestro modelo para el diseño de interfaces de TVDi ha presentado un comportamiento aceptable para obtener interfaces que ayuden a una población marginada (los adultos mayores) de las nuevas tecnologías de información y comunicación, como lo son las plataformas de servicios a través de televisión digital interactiva. Este análisis del modelo permite ver la usabilidad de las interfaces y su ajuste al diseño adaptado a la tercera edad que presenta muchas veces limitaciones cognitivas y físicas.

Como trabajo futuro cabe hacer análisis y también las repercusiones más detalladas, del modelo para los

usuarios y también para los diseñadores, dado que éstos también son beneficiados a través del modelo para el diseño de interfaces de TVDi. Adicional, introducir o adicionar los lineamientos más detallados para que haya un diseño más universal e inclusivo.

7. REFERENCIAS

- [1] The MHP Knowledge Project (MHP-KDB), The MHP-Guide, A comprehensive Guide to the Multimedia Home Platform, the underlying technology and possible uses, www.mhp-kdb.org, 2006, pp 19.
- [2] MORRIS S., Smith-Chaigneau A. Interactive TV Standards, Elsevier, Printed in the USA, 2005, pp 15-70.
- [3] FISK, J., Rogers, W.A., Charness, N., Czaja, S. J., and Sharit, J. Designing for Older Adults: Principles and Creative Human Factors Approaches. CRC Press, 2000, London.
- [4] PROSPER, E., COLLAZOS, C., Multiculturalización e Internacionalización de Interfaces de la Televisión Interactiva, artículo aceptado el 5 de sept. 2010, IX CSPC'10.
- [5] MARCUS, A. Cross-Cultural User-Interface Design, Smith, Michael J., and Salvendy, Gavriel, Eds., Proceedings, Vol. 2, Human-Computer Interface Internat. (HCII) Conf., 5-10 Aug., New Orleans, LA, USA, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ USA, 2001, pp. 502-505.
- [6] COLLAZOS, C.; ARCINIÉGAS, J. L.; MONDRAGÓN, V. M., GARCÍA, X., Directrices de diseño y evaluación de la televisión interactiva desde una perspectiva de usabilidad, IX Congreso Internacional de Interacción, Albacete 9-11 de junio de 2008.
- [7] Multiculturalización Global, ensayo, <http://www.buenastareas.com/ensayos/Multiculturalizacion-Global/286835.html>, accesado el 2 de julio de 2010.
- [8] ZAJICEK, M., Interface Design for Older Adults, WUAUC'01, May 22-25, 2001.
- [9] RICE, M.; ALM, N., Designing New Interfaces for Digital Interactive Television Usable by Older Adults, ACM Comput. Entertain. 6, 1, Article 6 (May 2008), 20 pages.
- [10] BOYLE, H.; NICOLLE, C.; MAGUIRE, M.; Mitchell, V. Older Users' Requirements for Interactive Television, Designing Accessible Technology, CWUAAT'06 Proceeding's, 2006, pages 85 - 92.
- [11] KEATES, S. and CLARKSON P. J. Countering Design Exclusion, An Introduction to Inclusive Design. Springer-Verlag, 2003, London, UK.
- [12] ZAJICEK, M., Special interface requirements for older adults. In Proceedings of the WUAUC'01, 2001 EC/NSF Workshop on Universal Accessibility of Ubiquitous Computing: Providing for the Elderly, (Alcácer do Sal, Portugal, May 22 - 25, 2001). ACM Press, New York, NY, USA, 2001, 60-65.
- [13] Pan American Health Organization, STRATEGIC PLAN 2008-2012 AMENDED (DRAFT), Official Document No. 328, June 2009.
- [14] SANDYS, E., Revista La Mujer 2000 - ONU, Artículo: Dimensiones del envejecimiento relacionadas con el género, ONU, División para el adelanto de la mujer, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, marzo de 2002.
- [15] STERMAN, J., Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/ McGraw-Hill, Homewood, IL., 2000, 1,008 pp.
- [16] ARACIL, J. Dinámicas de Sistemas, 1ra Edición © Isdefe c/ Edison, 428006 Madrid. Impreso en España, 1995.
- [17] RUBIN, A. M. and RUBIN, R. B. Older Persons TV viewing: Patterns and motivation. Communication Research 9, 2, 1982, 287-313.