

Evaluación de políticas públicas para el control de la carrera criminal en la ciudad de Medellín con el apoyo de simulación - 2005

Prado, John., Dyner, Isaac
{jjprado, idyner}@unalmed.edu.co
Universidad Nacional – Sede Medellín

Resumen— Este artículo está basado en la comprensión del fenómeno de la carrera criminal del homicida en la ciudad de Medellín, sus inicios y su dinámica. Se analiza las políticas que se han utilizado en el mundo para el control de la criminalidad y el enfoque del crimen bajo la teoría económica de Becker. El modelamiento del problema, se implementa con una herramienta de dinámica de sistemas.

Índice de Términos— Criminalidad, Carrera Criminal, Dinámica de sistemas, Políticas de prevención.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al trabajo de Bernad Klisberg (Klisberg, 2002), coordinador de la Iniciativa Interamericana del Capital Social, Ética y Desarrollo del BID, “Los índices de criminalidad de América Latina se han disparado en las dos últimas décadas”.

En la región latinoamericana para el año 2002, según Klisberg, “la población sufre en promedio 30 homicidios por cada 100.000 habitantes (Aunque el número de muertes violentas por cada 100.000 habitantes no es el único indicador de cuán violenta es una sociedad, tradicionalmente se ha asumido que el indicador es suficiente para ilustrar la situación de violencia en una nación.)”. Esa es una tasa que multiplica por seis la de los países occidentales que tienen una criminalidad moderada. En consecuencia con estos índices, la magnitud de la criminalidad en la región, ha determinado que sea considerada “epidémica” (Sánchez, 2001).

Klisberg observa que una buena parte de los crímenes son cometidos por jóvenes y señala como características comunes más sobresalientes la pobreza y las desigualdades sociales, “generan agudas tensiones sociales”. La evidencia recogida muestra que algunos componentes de este deterioro tienen una repercusión directa en la criminalidad. Las altas tasas de desocupación juvenil son tema de preocupación urgente y si este factor se une con la pobreza, la desarticulación familiar se convierte en elemento altamente relevante, así la violencia intrafamiliar adquiere características alarmantes. De igual forma, hay una correlación directa entre nivel educativo y criminalidad, y la explicación es sencilla: a mayor nivel educativo, menor criminalidad y, Medellín sin duda, encaja perfectamente en este perfil general. [Fajardo, 2002].

Medellín se encuentra entre las grandes ciudades de América Latina que superan las tasas de violencia del respectivo país, Con tasas superiores a los 100 homicidios por cada 100.000 habitantes (BID, 2003). En la tabla 1, se muestra la tasa de homicidios en algunas Ciudades de América Latina donde sobresale Medellín como la segunda más violenta de todo el continente.

En la ciudad casi a diario hay un secuestro, una acción terrorista, hay 9 homicidios diarios y hurtos; esto sumado a la orden perentoria de los jefes guerrilleros y paramilitares de trasladar el conflicto a las grandes ciudades (Antía, 2002). Es decir hoy más que nunca el conflicto armado en Medellín se ha urbanizado.

Tabla 1. Tasa de Homicidios en algunas Ciudades de América Latina

Tasa de Homicidios en algunas ciudades de América Latina	
Varios años (tasa anual por 100.000 habitantes)	
Ciudades	Tasa anual de homicidios más reciente disponible
Recife	158
Medellín	104
Ciudad de Guatemala	103
San Salvador	95
San Pedro Sula	90
Cali	91
Washinton	62
Sao Paulo	55
Rio de Janeiro	53
Tegucigalpa	48
Brasilia	38
Salvador(Bahía)	36
Porto Alegre	24
Bogota D.C	23
Lima	22
Curitiba	20
Ciudad de México	18
Quito	16
Ciudad de Panamá	11
Miami	9
Santiago de Chile	6
Buenos Aires	5
Fuente: BID – años 1999-2003	

II. ANTECEDENTES

Las tasas de homicidio en Colombia están entre las más altas del mundo. En 1991, casi mil colombianos fueron asesinados. La tasa de homicidios en Colombia es tres veces más alta que la de Brasil o México, y diez veces mayor que la de Argentina, Uruguay o que la de los Estados Unidos.

En Colombia durante el año 2.000, la criminalidad se reporta fuera de control y el Estado no tiene una política criminal bien definida para

combatir al delincuente y el fenómeno criminológico (Dyner y Jaén, 2003). En el país, 3.700 personas fueron secuestradas el año 2004 y se cometieron 26.250 homicidios. (Departamento Nacional de Planeación, 2005)

Según el Departamento Nacional de planeación en un informe especial sobre “cifras de violencia secuestro extorsivo“, de los 13.616 secuestros extorsivos realizados entre 1996 y el 2003, el 46,8% se concentraron en 5 departamentos: Antioquia (19,4%), Cesar (8,2%), Valle del Cauca (6,8%), Santander (6,6%) y Cundinamarca (5,7%); siendo Antioquia el Departamento con mayor porcentaje.

Medellín, en los últimos doce años, ha tenido una tasa alrededor de 150 homicidios por cada 100.000 habitantes comprometiendo en su mayoría a la población joven y generando por esta causa efectos en la economía nacional cuando se trata de evaluar años de vida potencialmente perdidos, ya que mientras más joven se muere una persona más es mayor el número de años que deja de producir.

En la década de los 80 el narcotráfico y el sicariato arremeten de manera sanguinaria contra la ciudad de Medellín, comenzando un período de altos índices de criminalidad: el narcoterrorismo. En estos años Medellín fue amenazada por carros bombas; toda una generación de jóvenes se dedicó a realizar actividades criminales como el sicariato y se aumentó el número de huérfanos y viudas luego de este devastador periodo. Cuando llegó el declive del Cartel de Medellín en el año de 1992, luego de la muerte de Pablo Escobar Gaviria y el encarcelamiento de sus principales lugartenientes, muchos jóvenes que habían derivado su sustento de esta actividad quedaron sin trabajo, entonces conformaron bandas juveniles que se dedicaron a otro tipo de delincuencia.

Grupos guerrilleros, paramilitares y de delincuencia organizada comenzaron a contratar a estas bandas juveniles para realizar diferentes actividades al margen de la ley (Antía, 2002). Los que no fueron utilizados por estas organizaciones

armaron sus propias estructuras disputándose territorios, comunas, barrios o cuadras utilizando la violencia.

Las autoridades han detectado desde entonces y hasta el año 2002, solamente en la ciudad de Medellín, cerca de 400 bandas conformadas por jóvenes entre los 12 y 25 años, muchas de ellas muy bien armadas y con suficiente capacidad de generar un impacto violento de innumerables consecuencias para la sociedad (Metroseguridad,2002).

III. TEORÍA ECONÓMICA DEL CRIMEN DE BECKER

A finales de la década de los 50, surgió un trabajo dentro de la Economía denominado Teoría Económica del Crimen (Becker. 1968). Este trabajo contempló de manera pionera, una mirada económica, a problemas considerados de índole moral o social. La Teoría Económica del Crimen plantea que el crimen podría volverse una actividad atractiva, si se dan las condiciones que hacen menos probable y punible, la captura y la sanción al cometer una infracción, así mismo si los ingresos por el delito favorecen la condición económica del infractor.

Becker define tres variables que pueden inducir a pensar en costo o beneficio dado el caso de infringir la ley:

- La oportunidad económica que ofrecen las fuentes ilegales de ingresos.
- La probabilidad de captura y condena.
- La duración de la sentencia.

Por este motivo cuando una, dos o tres de estas variables comienzan a decrecer, aumentar en caso de las oportunidades, el ignorar la ley se vuelve mucho más atractivo para el infractor, y en este sentido el modelo realizado por [Dyner y Jaén, 2003] presenta que, de un lado está la rebaja de penas que efectivamente aliviará el hacinamiento, y de otro lado el afectar negativamente las variables

de Becker, volviendo más atractivo el delito.

En síntesis se han liberado unas personas, pero se han creado las condiciones que inducen a actuar ilegalmente a otras.

IV. LA CARRERA CRIMINAL

Sus Inicios: Una forma frecuente de clasificar a delinquentes es por el tipo de delito. La evidencia empírica sobre la tendencia a cometer un solo tipo de delito (especialización) versus la versatilidad en la actividad delincencial es conflictiva. Por un lado, algunos han encontrado que si existe esta tendencia (Farrington, Zinder, y Finnegan, 1988), en especial para aquellos que continúan delinquir en la edad adulta y durante mas tiempo (Blumstein, Cohen, Das, & Moitra, 1988), aquellos involucrados en delitos de “cuello blanco” (Benson y Moore, 1992), y los que inician actividades delincuenciales luego de tener problemas de adicción a drogas (Farabee, Joshi, y Anglin, 2001).

Rolf Loeber y su grupo de investigación en la Universidad de Pittsburg de los Estados Unidos han propuesto, con base en el seguimiento durante 14 años de una cohorte de niños (n=517), tres trayectorias (Loeber, 1998; Loeber & Hay, 1994). En los tres, los comportamientos más serios son precedidos por otros menos graves. Un primer camino, denominado abierto o público, se inicia con agresión menor (molestar o amedrentar a otros), seguido por participar en peleas, terminado con delitos violentos. El camino encubierto se inicia con comportamientos encubiertos menores como mentiras o robar cositas de tiendas, progresa a daño a propiedades, y termina en delitos menores a serios como fraude, robo, y atraco. El tercer camino se inicia con comportamiento desafiante, progresa a desobediencia y termina en desacatamiento de normas como volarse de la casa o escuela, o quedarse fuera hasta horas tardes. Los autores ilustran estos caminos en la gráfica siguiente.



Figura 1. Caminos a la delincuencia (Loeber, et al., 1998).

Soporte empírico adicional para este modelo surge de los análisis de los datos del National Youth Survey (una encuesta nacional de una muestra aleatoria de jóvenes 12 a 17 años en EEUU) y del Chicago Youth Development Study (un seguimiento de niños de quinto y séptimo grado de escuelas públicas en la ciudad de Chicago). En esta prueba del modelo, el 84% de los delincuentes cumplieron los pasos propuestos por Loeber, et al. (Tolan & Gorman-Smith, 1998). Fue aún más este porcentaje cuando se limitó el análisis al subgrupo de delincuentes más serios o violentos.

Desarrollo de la Carrera Criminal: Además de la reacción de las sociedades a altos niveles de criminalidad también se ha identificado la reacción de los delincuentes y cómo ellos tienen una carrera criminal en la cual hay un aprendizaje, además de una influencia en la sociedad que los alberga (Gaviria, 2000; Martínez, 2001, Blumstein, 2003), y por esto, considerar los aspectos endógenos de la reacción criminal es también un aspecto que se considera necesario a la hora de entender mejor la criminalidad.

Considerar sólo aspectos económicos en a la hora de modelar las decisiones de la delincuencia es algo que quizá también le reste posibilidades de maniobra a los tomadores de decisiones y planeadores de políticas. Jaen y Dyner validaron el

hecho de que diferentes niveles de las variables de la teoría de Becker y del Capital Social pueden ayudar a comprender mejor el comportamiento criminal, y que la sola aproximación macroeconómica presenta limitaciones por no contemplar los aspectos sociales. También corroboraron que efectivamente un aumento considerable en la probabilidad de captura y en la duración de la sentencia, pueden explicar el control o la caída de una oleada de criminalidad. Pero además de esto concluyeron, que si la inversión en control de la criminalidad no es sostenida, lentamente ella puede volver a recuperarse. Es decir, el poder disuasivo de las variables de Becker no es de larga duración.

En el modelo que plantearon se valieron de conceptos para dar soporte a las variables disuasorias de Becker, el aprendizaje delincencial el cual es un elemento clave para entender el efecto de una criminalidad, cuando el estado no reacciona a tiempo.

Este aprendizaje fue fruto de lo que se denominó cohesión de la criminalidad. El modelo hizo aportes en el sentido de introducir esta idea y de articularlo como una herramienta del aprendizaje. Así mismo, posibilitaron la situación que explica el por qué grandes inversiones en seguridad no garantizan decrementos en la cohesión de los delincuentes.

Concluyeron que estos “soportes” a Becker no invalidan su teoría, sino que la acompañan para darle un marco en el que ella tenga más sentido. En síntesis, la inclusión de la cohesión de la criminalidad, como el Capital Social de las organizaciones delictivas, y del aprendizaje delincencial, resultaron indispensables a la hora de modelar el fenómeno criminal.

Considerar sólo aspectos económicos en a la hora de modelar las decisiones de la delincuencia es algo que quizá también le reste posibilidades de maniobra a los tomadores de decisiones y planeadores de políticas. Jaen y Dyner validaron el

la teoría de Becker y del Capital Social pueden ayudar a comprender mejor el comportamiento criminal, y que la sola aproximación macroeconómica presenta limitaciones por no contemplar los aspectos sociales. También corroboraron que efectivamente un aumento considerable en la probabilidad de captura y en la duración de la sentencia, pueden explicar el control o la caída de una oleada de criminalidad. Pero además de esto concluyeron, que si la inversión en control de la criminalidad no es sostenida, lentamente ella puede volver a recuperarse. Es decir, el poder disuasivo de las variables de Becker no es de larga duración.

En el modelo que plantearon se valieron de conceptos para dar soporte a las variables disuasorias de Becker, el aprendizaje delincencial el cual es un elemento clave para entender el efecto de una criminalidad, cuando el estado no reacciona a tiempo.

Este aprendizaje fue fruto de lo que se denominó cohesión de la criminalidad. El modelo hizo aportes en el sentido de introducir esta idea y de articularlo como una herramienta del aprendizaje. Así mismo, posibilitaron la situación que explica el por qué grandes inversiones en seguridad no garantizan decrementos en la cohesión de los delincuentes.

Concluyeron que estos “soportes” a Becker no invalidan su teoría, sino que la acompañan para darle un marco en el que ella tenga más sentido. En síntesis, la inclusión de la cohesión de la criminalidad, como el Capital Social de las organizaciones delictivas, y del aprendizaje delincencial, resultaron indispensables a la hora de modelar el fenómeno criminal.

La legislación colombiana aunque se presenta como una de las más duras de Latinoamérica, no alcanza a tener el poder disuasivo que tienen otras legislaciones, y más aun cuando se ve en las figura 2, que la probabilidad de que se materialice dicho castigo para el infractor es tan baja.

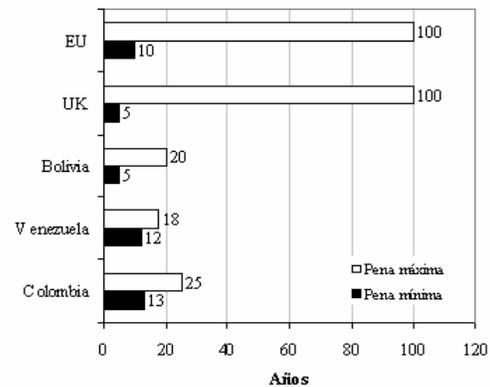


Figura 2. Tiempo máximo y mínimo por homicidio.

En la figura 3, Se aprecia el esquema de la carrera criminal y el impacto que tiene la incapacitación o encarcelamiento dentro de la misma. De este modelo se puede inferir además que si el miembro que ha sido encarcelado tenía una posición importante dentro de un grupo criminal, el grupo se verá afectado ya que el conocimiento y la experiencia de este individuo no estará por un tiempo al servicio del mismo.

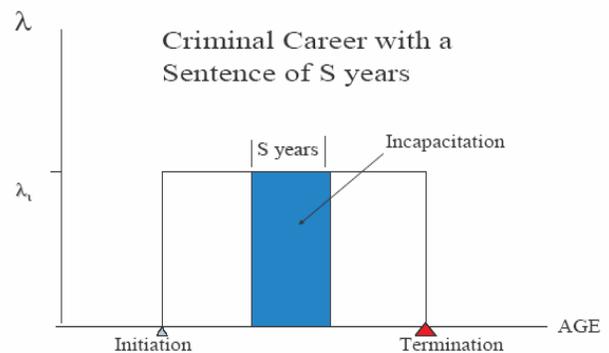


Figura 3. Carrera criminal. Fuente Blumstein (2003)

En el planteamiento de la carrera criminal subyace un concepto no directamente mencionado por Blumstein, y es el del aprendizaje delincencial. Es una consecuencia que si se acepta que hay una carrera criminal, también debe aceptarse que hay un aprendizaje delincencial. Algunos de los autores (Restrepo, 2001; Gaviria, 2000; Andrade, 1997) hacen una clara referencia que la delincuencia aprenden como evadir la captura, a mover dentro de redes legales el fruto de sus operaciones ilegales, a adquirir nueva tecnología de comunicaciones y

armamento, a entrenarse y a pagar entrenamiento (Smyth, 2004) por mercenarios extranjeros, e incluso a ablandar las leyes que podrían perjudicarlos.

Bajo el precedente de la magnitud del problema que vive la ciudad de Medellín es necesario incorporarse directamente en la esencia de la carrera criminal. A partir de la experiencia de los expertos en criminalística y de la utilización de herramientas computacionales de simulación, a la vez se busca caracterizar las variables que inciden en este problema y responder a las preguntas ¿qué pasaría si?, ¿Cómo se conforma la carrera criminal en la ciudad de Medellín?, ¿Qué políticas podemos plantear para interrumpir la carrera criminal? y ¿Cómo se puede reducir el homicidio en Medellín?

V. POLÍTICAS PARA EL CONTROL DE LA CRIMINALIDAD

De acuerdo a Klisberg, las respuestas que se han aplicado en el mundo para el control de la criminalidad se pueden dividir, a grandes rasgos, en dos categorías. La “Vía Punitiva”, reclama acciones directas, de castigo duro a cualquier tipo de infracción y, en consecuencia, se dirigen a aumentar el número de efectivos policiales, a criminalizar a los menores, y se aumenta el número de cárceles para encerrar delincuentes. La política de “tolerancia cero” de Nueva York y otras ciudades, es un ejemplo.

Según Levitt “... ha sido establecido que con largas sentencias en prisión los crímenes disminuyen” (1996). Además, afirma que en promedio, la detención de un delincuente previene la realización de 15 delitos. Si el número de sentencias aumentara en un 15% en los Estados Unidos, la tasa de delincuencia se reduciría en un 10%. Marvell y Moody en (1996), estiman que 21 delitos podrían ser evitados con políticas de encarcelamiento.

Spelman (1994), calcula que entre 16 y 20 delitos podrían ser prevenidos por mantener a los delincuentes en la cárcel, mientras Cohen (1987) afirma que este número sería de 12. Basado en la

conducta de los internos, Dilulio (1995) establece que en promedio 15 crímenes podrían ser evitados por políticas de encarcelamiento. Así mismo Blumstein citando un trabajo de Avi-Itzhak y Shinnar afirma que “... imponer una larga sentencia, minimiza el tiempo de los delincuentes en las calles, así como la frecuencia de sus actos” (2002).

De otro lado, la “Vía preventiva”, está en oposición a la anterior, y señala que los resultados que se obtienen son pasajeros, pero no solucionan el problema. Se criminaliza la pobreza, y se profundizan los enfrentamientos sociales. Proponen entonces un enfoque preventivo, con la participación de toda la comunidad, con vigorosos programas de apoyo a los jóvenes desfavorecidos. Los ejemplos de las ciudades de Boston, y San Diego ilustran este enfoque. La pregunta existente ahora es qué pasaría si estas u otras políticas se utilizan en Medellín?

VI. DINÁMICA DE SISTEMAS EN EL MODELAMIENTO DE SISTEMAS SOCIALES COMPLEJOS

La dinámica de sistemas es una disciplina académica creada en los años 60 por Jay W. Forrester del MIT. Sus raíces originales fueron en sistemas ingenieriles y gerenciales pero hoy en día se ha convertido en una herramienta utilizada para el análisis de sistemas sociales, económicos, físicos, químicos, biológicos y ecológicos. La dinámica de sistemas tiene su origen en lo que se conoce como el enfoque de sistemas.

El enfoque de sistemas hace énfasis en: Las conexiones entre las partes que constituyen el todo; en la unidad del todo (holismo), Interdisciplinariedad y los principios de la cibernética. La dinámica de sistemas puede definirse como el enfoque de sistemas aplicado a la simulación. Es una metodología usada para entender como cambia un sistema a lo largo del tiempo.

Para analizar y resolver un problema usando

dinámica de sistemas se requieren las siguientes destrezas:

- Conocimiento del problema a tratar
- Un método para estructurar y organizar el conocimiento acerca del problema
- Una herramienta, la simulación por computador, que permita tomar en cuenta simultáneamente todas las relaciones que se consideran importantes para describir el problema.

Esta investigación utiliza la Dinámica de Sistemas para simular, modelar y comprender el problema de la carrera criminal de los homicidios en Medellín. Para tal fin, se utiliza la capacidad de los modelos para posibilitar la discusión interactiva de los actores básicos: Empresarios, trabajadores y Gobernantes de tal manera que se formulen políticas públicas coherentes y consistentes y se puedan anticipar a escenarios no deseables con decisiones bien informadas.

En la realidad del mundo social, es donde la utilización del Pensamiento Sistémico, conjuntamente con la Dinámica de Sistemas, sumado a la construcción de Modelos y Simulación por Computadora son verdaderamente importantes, dado que racionalizan y fundamentan la toma de decisiones. dada la estructura de la metodología de la Dinámica de Sistemas, se propone ésta como una herramienta fundamental en el Sector Estatal, en todos sus niveles y en todas las Instituciones que lo componen, como paso estratégico a la hora de planificar Políticas Sociales. En los escenarios sociales existe la necesidad latente de que los sistemas de información no solo procesen datos, sino que generen información estratégica y predictiva, pues cuando se decide que camino tomar, que acción llevar adelante se hace basándose en la información que se posee y/o al conocimiento que se tenga.

VII. ¿PORQUÉ UTILIZAR SIMULACIÓN?

En esta investigación, la simulación se utiliza

básicamente, para entender e intervenir el problema de la carrera criminal bajo las siguientes condiciones:

- Entender como el sistema real funciona. En este caso se usan los modelos para probar hipótesis acerca de la estructura y funcionamiento del sistema real. Este es el uso más frecuente de la simulación para las ciencias sociales.
- Optimizar ciertos aspectos del sistema real.
- Conducir experimentos que con el sistema real serian demasiados costosos o consumirían demasiado tiempo. Además de evitar estos inconvenientes los experimentos realizados con simulación tienen la ventaja de ser completamente repetibles y los datos generados por el computador son más fáciles de analizar e interpretar.
- Educar en el funcionamiento esperado del sistema real.
- Preparar cambios en el medio ambiente del sistema real.

VIII. HIPÓTESIS DINÁMICA DE LA CARRERA CRIMINAL DEL HOMICIDA

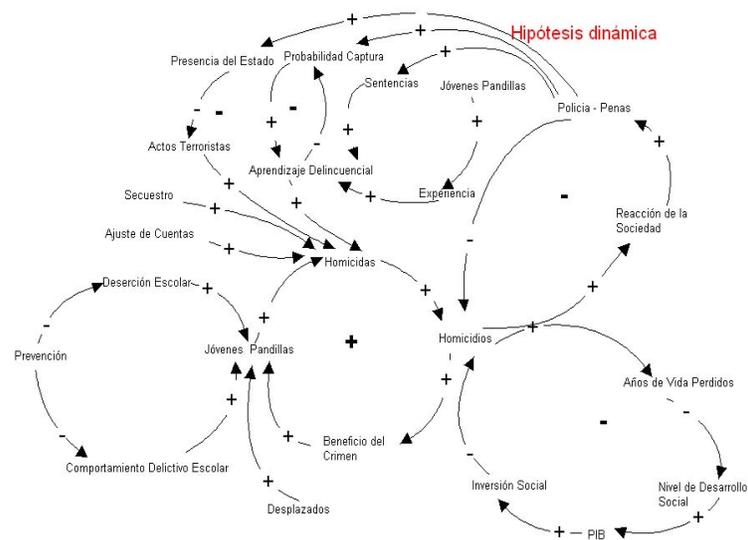


Figura 4. Hipótesis dinámica de la carrera criminal del homicida

IX. CONCLUSIONES

La inversión de Estado orientada a satisfacer las necesidades básicas de la población, representadas en salud, educación, servicios públicos y vivienda representa una toma de decisiones que requiere especial atención y para contrarrestar efectivamente el fenómeno de la criminalidad se requiere de decisiones bien informadas, del enfoque de sistemas y herramientas computacionales que permitan la simulación de las variables y relaciones que intervienen en esta problemática.

La población mas involucrada en las acciones criminales son los jóvenes entre los 14 y los 25 años de edad, el modelo muestra que una de las causas que mas incidencia tiene sobre esta población es el ingreso a pandillas generado en gran medida por la deserción escolar.

El modelo deja pronosticar que las variables más incidentes en la criminalidad en la ciudad de Medellín son: La ausencia de estado, la deserción escolar, el aumento de pandillas, la falta de políticas claras, el tráfico de armas, el desplazamiento, necesidades básicas insatisfechas.

REFERENCIAS

- [1] ANTÍA, Germán. Costos Económicos De La Criminalidad Y El Terrorismo En Colombia. 1996-2000. 2002
- [2] D. Coleman, Groupware - The Changing Environment. Chapter 1
- [3] BECKER Gary, 1968. Crime and Punishment; The economic approach Journal of Political Economy, Vol 76 no 2, 169-217.
- [4] BID, División de Modernización del Estado y Sociedad Civil. Departamento Regional de Operaciones 2, "Situación de violencia en Centroamérica", 2003.
- [5] BLUMSTEIN, A., COHEN, J., DAS, S., MOITRA, S.D. (1988)). Specialization and seriousness during adult criminal careers. Journal of Quantitative Criminology, 4, 303-345.
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - informe especial sobre "cifras de violencia secuestro extorsivo período 1996 -2003.
- [7] FAJARDO, V. Sergio. Análisis El conflicto urbano en Medellín. Periódico EL COLOMBIANO. 2002.
- [8] J. D. Sterman, Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World. 2000.

- [9] GAVIRIA, Alejandro. 2000. Increasing returns and the evolution of violent crime: the case of Colombia. Journal of Development Economics. Vol. 61 (1-25).
- [10] HERNÁNDEZ Jason y DYNER R. Isaac. 1999. Crisis in Colombian prisons: Cause or consequence of a flawed judicial system? International Congress of System Dynamics. Palermo.
- [11] JAEN, Sebastián. y DYNER R. Isaac. Evaluación de políticas para la reducción de la criminalidad en Colombia: Un estudio a partir de la dinámica entre las organizaciones criminales y la construcción de Capital Social. 2004
- [12] JAEN, Sebastián y DYNER R. Isaac. La rentabilidad del crimen: ¿un problema de presupuesto, prisiones o políticas? 2002.
- [13] KLISBERG, Bernard. Los índices de criminalidad de América Latina se han disparado en las dos últimas décadas. BID. 2002
- [14] LEVITT, S y RUBIO, M. (2003). Crimen en Colombia: análisis y sugerencias de política.
- [15] LOEBER, R., FARRINGTON, D.P., STOUTHAMER-LOEBER, M., MOFFITT, T.E., CASPI, A. (1998). The Development of Male Offending: Findings from the First Decade of the Pittsburgh Youth Study. Studies on Crime and Crime Prevention 7, 141-171.
- [16] METROSEGURIDAD. Plan maestro de seguridad para Medellín y su Área Metropolitana. 2002.
- [17] SÁNCHEZ, F. Núñez, F. Determinantes del crimen violento en un país altamente violento. El caso de Colombia. Coyuntura Económica. Fedesarrollo. 2001.
- [18] SPELMAN William. 1994. Criminal Incapacitation. Plenum press. New York.

Autores

ISAAC DYNER R. Profesor Universidad Nacional de Colombia con amplia trayectoria en la aplicación de la Dinámica de Sistemas en sistemas sociales.

JOHN JAIRO PRADO, Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Antioquia, Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional Sede – Medellín, Actualmente trabaja como monitor académico de Investigación en la Universidad Nacional y docente en la Universidad de Antioquia.

Modelo de Simulación de Requerimientos de Movilidad

González Londoño, Yessica Catalina., Gómez Sánchez, Diego Fernando
yescata@yahoo.com, diegogomez@epm.net.co
Fundación ECSIM – Centro de Estudios en Economía Sistémica

Resumen—El Modelo de Simulación de Requerimientos de Movilidad tiene por objetivo establecer los escenarios de requerimientos de movilidad de materiales y personas, para la expansión de la actividad económica. Para ello se consideran las tasas de viaje en los diferentes medios de transporte según el ingreso per cápita de la población y el parque automotor actual del Valle de Aburrá. El modelo permite obtener como resultado los viajes totales de la población en un periodo de simulación de 15 años (2004 – 2019), los vehículos requeridos para cada alternativa de transporte y los vehículos de carga necesarios para satisfacer la expansión económica.

Índice de Términos— Movilidad, Transporte, Ingreso Per Cápita.

I. INTRODUCCIÓN

La urbanización acelerada, la división del trabajo y el aumento de la población han producido una extraordinaria y permanente demanda por servicios de transporte. Es por ello que no se puede desconocer que existe una estrecha conexión entre las actividades económicas de una región y los sistemas de transporte.

Con el siguiente trabajo se pretende estudiar la relación que hay entre el crecimiento económico y los requerimientos de movilidad. Para ello, inicialmente, se presenta un breve marco teórico sobre movilidad. Luego, en la búsqueda de una idea general sobre lo que se ha trabajado en el mundo, se presentan algunos diagramas causales, relacionados con el tema e investigados por estudiosos de Dinámica de Sistemas. Posteriormente, basados en la teoría y los diagramas causales expuestos, se presenta la propuesta de modelo de simulación de requerimientos de movilidad, apoyada en la herramienta Dinámica de Sistemas y el software

IThink ®. Por último, se presentan algunos resultados.

II. MARCO TEÓRICO

A. *Importancia del Transporte*

A medida que las ciudades crecen en población, extensión y riqueza sus sistemas de transporte se vuelven más complejos. Por un lado, a mayores distancias aumenta el tiempo de traslado de un lugar a otro, modificando los patrones de transporte de la ciudad. De otro lado, el crecimiento económico y la expansión poblacional ponen a las ciudades frente a la necesidad de adecuar sus infraestructuras de transporte a las exigencias de producción, distribución e intercambio.

Algunos estudios del tema han establecido la relación entre transporte y actividades económicas como un círculo vicioso (Ver Fig. 1), donde se presenta que: A través de los servicios de transporte se facilita el movimiento de personas y de bienes y servicios, teniendo un impacto en la actividad económica de la zona, que a su vez genera un mayor crecimiento económico. Esto produce una mayor cantidad de viajes generados por la expansión urbana, y se refleja en impactos que se traducen en una mayor congestión vehicular, uso de energía y contaminación; lo que cierra el círculo llevando a mejorar y aumentar el transporte público [1].

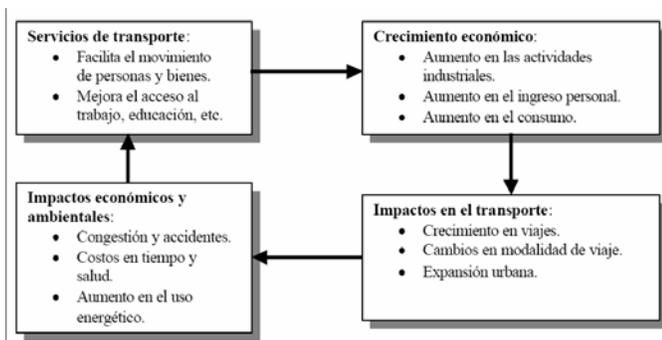


Fig. 1: Círculo vicioso del Transporte

B. Transporte Público y Privado

Los sistemas de transporte, y en particular el automóvil, plantean situaciones difíciles de resolver en las ciudades modernas. Los problemas de movilidad urbana, la contaminación del aire y el ruido, entre otros aspectos, debido a la escasa sensibilización de la población sobre los problemas asociados al uso abusivo del transporte privado y la insuficiente e inadecuada red de transporte público, son una fuente creciente de preocupación para muchas ciudades del mundo.

A raíz de esto, el transporte público colectivo es visto como la alternativa más viable, y por tanto en las administraciones públicas se habla de convertirlo en una opción agradable para el ciudadano, con diversidad de rutas, comodidad y rapidez en el servicio.

A continuación (Fig. 2) se presenta un círculo vicioso que muestra la relación entre transporte público y transporte privado [2].

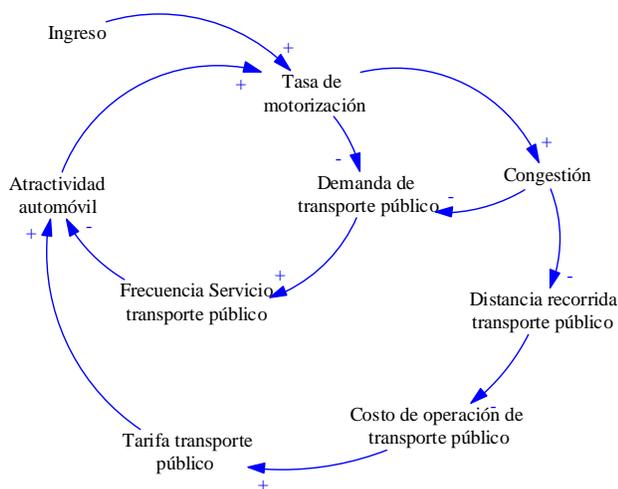


Fig. 2 : Círculo Vicioso - Transporte Público y Automóvil

El crecimiento económico en las ciudades trae

conigo el aumento de la tasa de motorización (relación entre número de automóviles y número de habitantes). Entre los factores que influyen en este fenómeno están el símbolo de estatus que representa el poseer uno o más autos, y la comodidad que otorga el automóvil con respecto al servicio que presenta el sistema de transporte público. Más dueños de autos implica más automóviles circulando en las calles y menos pasajeros dispuestos a utilizar el transporte público. Al verse enfrentados a una disminución de la demanda, los operadores pueden reaccionar aumentando las tarifas y/o disminuyendo las frecuencias para mantener sus beneficios, con la consiguiente baja en el nivel de servicio; por lo tanto, los usuarios verán aumentados sus tiempos de espera y las tarifas que deben cancelar. El aumento de los flujos circulantes provocados por más autos también juega en contra del transporte público ya que aumenta sus demoras con lo que aumenta sus costos de operación que nuevamente se verán reflejados en aumentos de tarifa y disminución de las frecuencias de operación. Este empeoramiento del transporte público hace que pase a ser aún menos atractivo frente a la alternativa de utilizar el automóvil. Ello incentiva a más usuarios a adquirir automóviles y abandonar el transporte público, con lo que se produce un círculo que lleva a un deterioro continuo del sistema.

A diferencia de lo expuesto en la Fig. 2, lo ideal es un círculo virtuoso donde se establezca un transporte público de calidad y políticas que tiendan a desincentivar el uso del automóvil en la ciudad. Estas dos medidas unidas pueden provocar una mejora paulatina del transporte público y, por tanto, que la población lo emplee cada vez más. Al existir una reducción constante de transporte privado, el transporte público se convierte poco a poco en la mejor opción para muchos trayectos. Esta mejora se puede medir directamente en términos de reducción de la contaminación atmosférica, del ruido, del tiempo perdido en congestiones y de la mejora en general del paisaje urbano.

C. Transporte en el Valle de Aburrá

El Valle de Aburrá se encuentra ubicado en la

Cordillera Central en el Departamento de Antioquia. Posee una extensión de 1.152 km². La conformación del Valle de Aburrá, es el resultado de la unidad geográfica, determinada por la cuenca del río Aburrá que lo recorre de sur a norte. Los municipios que lo conforman son: Barbosa, Bello, Caldas, Envigado, La Estrella, Girardota, Itagüí, Medellín, Sabaneta y Copacabana.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá¹ en el Proyecto Metrópoli 2002-2020² describe de la siguiente manera la movilidad en el Valle de Aburrá: “Es caótica, deficiente e ineficiente. El sistema vial no crece al mismo ritmo del parque vehicular. El transporte privado crece de manera acelerada y desproporcionada en relación con la capacidad vial existente. El transporte público es desorganizado, no se ha integrado al metro, y emplea equipos obsoletos”. Además plantean: “La flota de taxis es exageradamente desproporcionada, comparada con las necesidades y la capacidad de pago de la población. Los niveles de congestión, en algunas intersecciones y tramos de vía, crecen cada vez más a través de la red vial, generando altísima contaminación, accidentalidad, tensión individual y colectiva e incremento de costo de combustibles, equipos y tiempos de viaje” [3].

De manera similar se plantea lo siguiente para el municipio de Medellín: “La red vial es deficitaria y se encuentra saturada debido a su uso inadecuado, por la sobreoferta de transporte público individual (más de 25.000 taxis circulan en la ciudad) y por el crecimiento desmedido del parque automotor, el cual crece más rápidamente que el incremento de la malla vial”.

Se evidencia de esta manera que el tema de la movilidad en el Valle de Aburrá cuenta con un gran número de deficiencias que, de seguir así, harán colapsar todo un sistema.

III. MODELOS DE TRANSPORTE DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

A continuación se presentan, con su respectiva explicación, dos diagramas causales sobre el tema

de movilidad. Algunas de las ideas representadas en dichos diagramas causales se consideran en el modelo propuesto por la Fundación ECSIM.

A. Congestión Vehicular

John Sterman³, uno de los más destacados exponentes de la Dinámica de Sistemas, presenta en su libro *Business Dynamics* el siguiente diagrama causal sobre movilidad [4]:

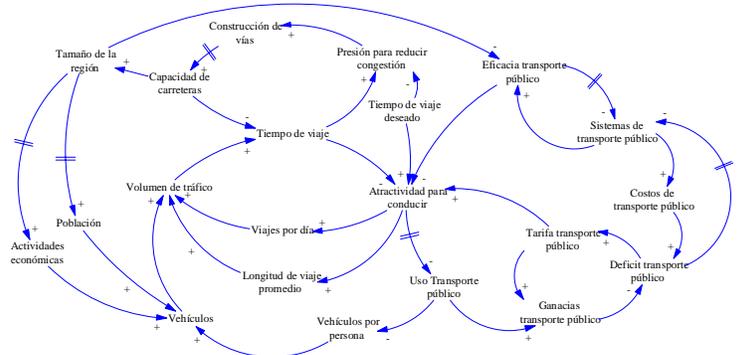


Fig. 3 : Congestión Vehicular

Este diagrama causal se centra en el problema de congestión vehicular, la cual se puede medir a través del tiempo de viaje promedio. El tiempo de viaje depende de la capacidad de las carreteras y el número de vehículos que circulan (volumen de tráfico). El volumen de tráfico es igual al número de vehículos en la región multiplicado por las distancias que cada vehículo viaja por día. A su vez, las distancias que cada vehículo viaja por día es el producto del número de viajes que cada vehículo hace por día y la longitud de cada viaje. El número de vehículos en la región es igual a multiplicar la población por el número de automóviles por persona. Mientras más gente y negocios hayan, más vehículos habrán. El número de vehículos por persona o negocio depende de lo atractivo que sea

¹ Entidad Administrativa gestora del desarrollo de la Región del Valle de Aburrá.

² Plan Integral de Desarrollo Metropolitano.

³ Director del System Dynamics Group de la Sloan School of Management del Massachusetts Institute of Technology - MIT.

conducir, que a su vez depende del nivel de congestión.

A medida que el número de vehículos en las carreteras aumenta, según la capacidad de las carreteras, el tiempo de viaje promedio disminuye. A medida que aumenta la congestión vehicular se genera una presión por la construcción de nuevas vías. La construcción de nuevas vías y las mejoras hechas a las carreteras aumentan la capacidad de las mismas, disminuyendo el tiempo de viaje, y aumentando la atractividad para conducir.

En la parte izquierda de la Fig. 3 se ve que la construcción de nuevas carreteras hace posible vivir fuera del centro de la ciudad, dando lugar a nuevas comunidades, y por tanto a una mayor población y a nuevas actividades económicas. De la misma manera el aumento en el tamaño de la región vuelve el Sistema de Transporte Público menos eficaz, porque las redes de transporte dejan de cubrir entonces toda la región, resultando poco útiles para la gente.

Por otra parte, al lado derecho de la Fig. 3, se puede ver el círculo vicioso del transporte público y el automóvil, ya mencionado, y que también es conocido como *Espiral de Deterioro del Transporte Público*.

B. Desarrollo Sostenible

El profesor Shu-Li Huang⁴ en el trabajo: *Urban indicators as measurements of Taiwan's sustainability*, presenta el siguiente diagrama causal con algunas de las relaciones identificadas entre actividades económicas, medio ambiente, población y medios de transporte [5].

Para dicho trabajo se partió de la identificación de los problemas que causan el desarrollo no sostenible en la ciudad de Taipei (Taiwan); problemas como la calidad del aire debido al tráfico, la provisión insuficiente de espacios urbanos dado el incremento de la población, la congestión vehicular por la inadecuada planeación, entre otros.

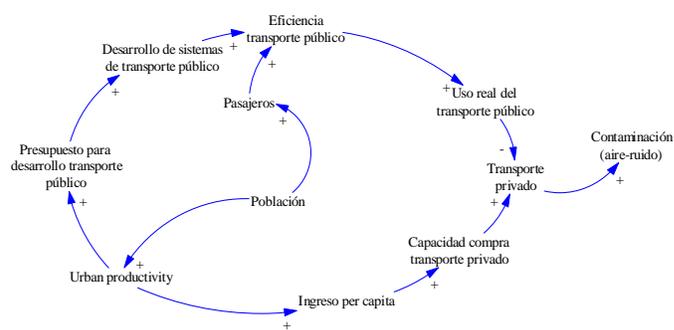


Fig. 4 : Desarrollo Sostenible

Algunas de las ideas que plantea el diagrama causal son las siguientes:

- 1) Un mayor ingreso per cápita refleja la actividad económica y el potencial del área urbana para el desarrollo sostenible.
- 2) Una mayor cantidad de automóviles no solo refleja el crecimiento de la economía sino también el problema del tráfico (congestión) y la contaminación que degrada la calidad del medio ambiente.
- 3) Mejorar la eficiencia del transporte público ayuda a reducir los viajes en transporte Privado y es beneficioso para el desarrollo sostenible.

IV. DIAGRAMA CAUSAL DE MOVILIDAD PLANTEADO POR ECSIM

Con base en los dos diagramas causales expuestos, otros trabajos en Dinámica de Sistemas, y las relaciones causales ya estudiadas, se obtuvo el siguiente modelo (Ver Fig. 5), el cual intenta ilustrar la relación existente entre el crecimiento económico y los requerimientos de movilidad dentro de un área urbana. Es importante tener claro que este diagrama causal no considera las necesidades de transporte para la recreación de la población, pues se basa únicamente en las relaciones causales que implican el desarrollo de las actividades económicas y el desarrollo social de la ciudad.

⁴ Profesor de Graduate Institute of Urban Planning, National Taipei University - Taipei (Taiwan)

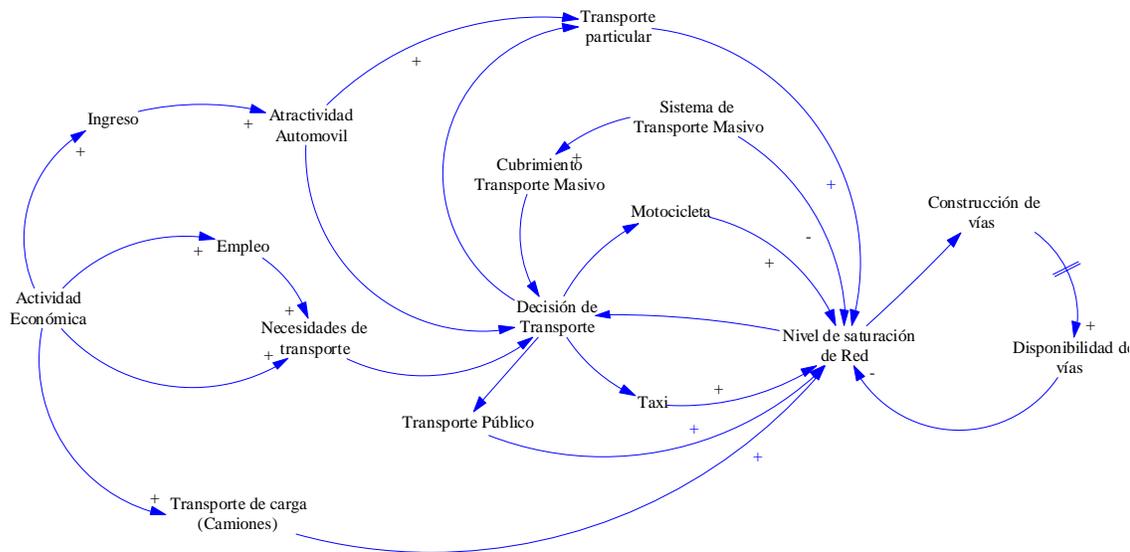


Fig. 5 : Diagrama Causal – Requerimientos de Movilidad

En este diagrama causal se presentan las siguientes ideas:

A. El desarrollo de actividades económicas en la ciudad genera empleo. Mientras más personas empleadas haya, habrá una mayor demanda de transporte; pues hay necesidad de desplazarse de la casa al trabajo y del trabajo a la casa, por lo cual como mínimo son 2 viajes diarios por persona (si se considera que los empleados no se desplazan a sus casas en la hora del almuerzo). La variable necesidades de transporte es estimada como número de viajes.

B. Una mejora en el nivel de ingresos de una familia implica en muchas circunstancias un crecimiento en la demanda de algunos bienes, como lo son los automóviles. Es por ello, que en este diagrama causal, un mayor ingreso se muestra positivamente relacionado con la atractividad del automóvil y por tanto el aumento de los vehículos particulares.

C. La construcción de nuevos sistemas de transporte público, como lo es el metro, trae consigo, entre otras ventajas, un mayor cubrimiento del área. Entendiéndose bajo la variable cubrimiento o accesibilidad, el número de personas que cuentan con servicio integrado de transporte a menos de cierto número de cuadras de su casa.

D. La construcción de vías es una variable exógena que depende de las políticas tomadas en

las administraciones públicas. La disponibilidad de vías es medida con base en los kilómetros de vías principales.

E. Un aumento en la cantidad de vehículos en operación incrementa el nivel de saturación de la región.

F. Para el desarrollo de la actividad económica, el transporte de carga se convierte en una tarea necesaria. En este modelo, el número de camiones (transporte de carga) es calculado con base en la producción de la economía.

V. PROPUESTA DE MODELO DE SIMULACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE MOVILIDAD

Este modelo de simulación tiene como objetivo establecer, para la expansión de la actividad económica, los requerimientos de movilidad de materiales y personas.

A. Hipótesis del Modelo

Para estudiar las variables y sus relaciones en las dinámicas de movilidad, es importante conocer las hipótesis del modelo, las cuales se plantean a continuación:

1) Los medios con los que cuenta la población para transportarse son los siguientes: transporte público, Sistema Integrado de

Transporte, taxis, motocicletas, bicicletas y vehículo particular. Entendiéndose como transporte público colectivo los buses, busetas y microbuses de la ciudad.

2) Hay gente que no tiene la opción de transportarse ni en motocicleta, ni en taxi o en carro particular. A medida que las personas aumentan su ingreso estas alternativas comienzan a ser viables.

3) A medida que aumenta la cobertura del Sistema Integrado de Transporte mayor número de personas hacen uso de él; es decir, un Sistema Integrado de Transporte accesible a las personas desplaza los demás medios de transporte.

4) Las políticas de incrementar o regular el número de vehículos en circulación pertenecientes a cada tipo de transporte son decisiones administrativas que se representan en el modelo a través de variables exógenas. Al igual que las políticas de incrementar o disminuir las vías disponibles.

B. Metodología

En primer lugar, se estudia el transporte de las personas; para lo cual se calcula una tasa de viajes diarios que varía de acuerdo al ingreso per cápita de la población. Este dato, junto a la población, permite obtener el total de viajes diarios de la población (Ver Tabla I y Fig. 6-Fig. 9)⁵.

TABLA I.
POBLACIÓN TOTAL POR MUNICIPIOS – VALLE DE ABURRÁ

	POBLACIÓN TOTAL (2004)
Valle de Aburrá	3,523,239
Medellín	2,350,227
Barbosa	39,066
Bello	400,291
Caldas	74,208
Copacabana	57,184
Envigado	175,085
Girardota	40,404
Itagüí	288,207
La Estrella	57,269
Sabaneta	41,298

Fuente: Fundación Social - Medellín

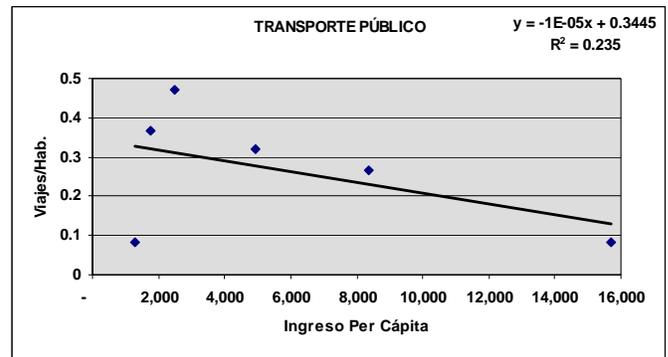


Fig. 6 : Tasa de Viajes en Transporte Público según Ingreso

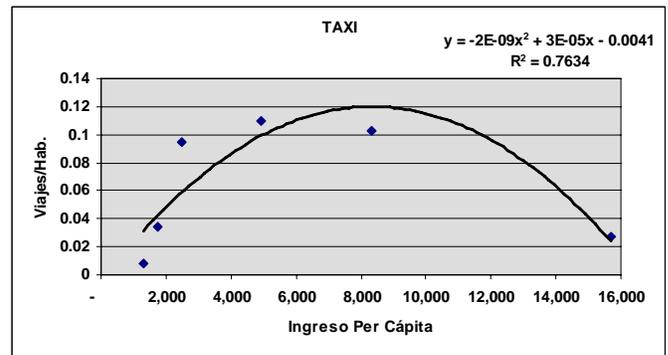


Fig. 7 : Tasa de Viajes en Taxi según Ingreso

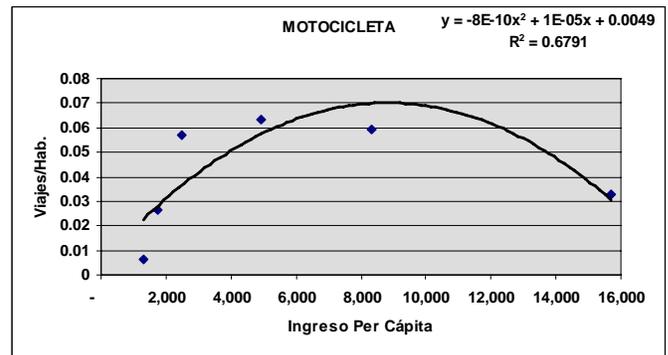


Fig. 8 : Tasa de Viajes en Motocicleta según Ingreso

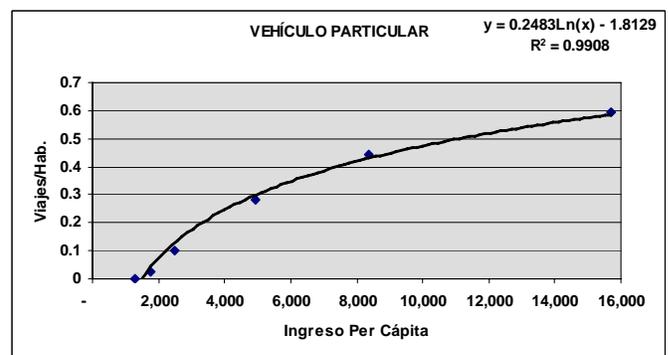


Fig. 9 : Tasa de Viajes en Particular según Ingreso

⁵ Estas gráficas se calcularon a partir de los datos arrojados por la Encuesta de Calidad de vida 2004 realizada en el municipio de Medellín e información suministrada por el Metro - Medellín.

El esquema general del Diagrama de Forrester del modelo es el siguiente:

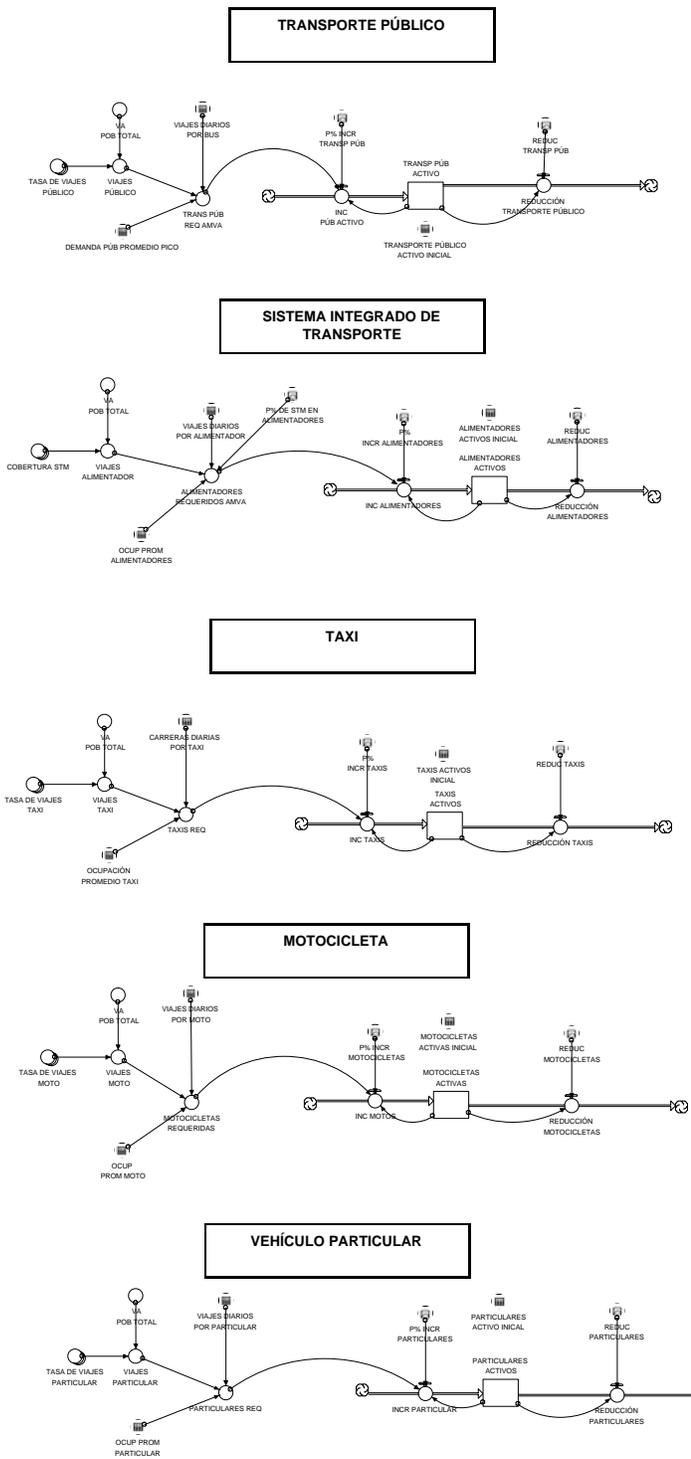


Fig. 10 : Diagrama de Forrester de Movilidad

Es importante anotar que aún cuando no se desconoce que la gente se vale de varios criterios para tomar la decisión de qué medio de transporte utilizar, en este modelo (por no considerarse un modelo de análisis de decisiones) se parte del supuesto de que los precios son competitivos y que criterios como el tiempo de viaje y la comodidad,

entre otros, se evidencian en la decisión de transporte tomada a través de patrones de demanda revelada.

Una vez se tiene la demanda de viajes total de la población en cada uno de los medios, se relaciona con la ocupación promedio de personas de cada tipo de transporte (número de personas promedio que se transporta en un viaje) y el número de viajes hechos al día por cada alternativa de transporte para poder hallar el número de vehículos requeridos.

Una vez se calcula el número de vehículos requeridos, y se tienen los datos del número de vehículos activos de cada tipo para el año inicial de simulación - 2004⁶ (Ver Tabla II.), los cuales se representan en el modelo a través de niveles (Ver Fig. 10), es posible a través de políticas administrativas intervenir el sistema. De tal manera que si el número de vehículos requeridos es mayor al número de vehículos en funcionamiento, una gestión puede ser aplicar medidas para suplir los vehículos faltantes; y si se da el caso contrario (requeridos menores a activos), las políticas administrativas pueden ser reducciones reguladas. Veamos:

- La variable Porcentaje de incremento es una variable exógena que varía con el tiempo, y es igual al porcentaje en que se desea incrementar los vehículos.
- La variable Factor eliminación es una variable exógena que varía con el tiempo, y es equivalente al porcentaje en que se desea reducir los vehículos.

TABLA II.
PARQUE AUTOMOTOR – VALLE DE ABURRÁ

ALTERNATIVA DE TRANSPORTE	VEHÍCULOS ACTIVOS EN EL VALLE DE ABURRÁ (2004)
Buses	7,080
Automóviles	285,019
Taxis	26,831
Motos	114,480
Camiones	23,806

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá

C. Transporte de Carga

El transporte de carga se plantea en el modelo de forma similar a los demás medios de transporte. Hay un número de camiones requeridos, unos

⁶Información suministrada por el Metro - Medellín.

camiones activos, y unas políticas de reducción de camiones que son las decisiones administrativas que con su implantación dinamizan el modelo. El incremento de camiones de carga depende de la variación del PIB del Valle de Aburrá (Ver Fig. 11).

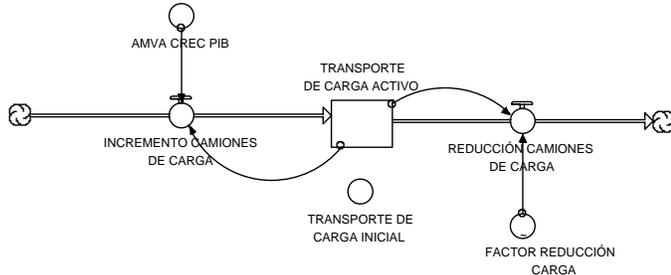


Fig. 11 : Transporte de Carga

D. Resultados

Este modelo ha sido entregado al Área Metropolitana del Valle de Aburrá (patrocinador del trabajo), para ser aplicado como herramienta de planeación y toma de decisiones metropolitanas.

A continuación (Fig. 12-Fig. 15) se presentan algunos de los resultados.

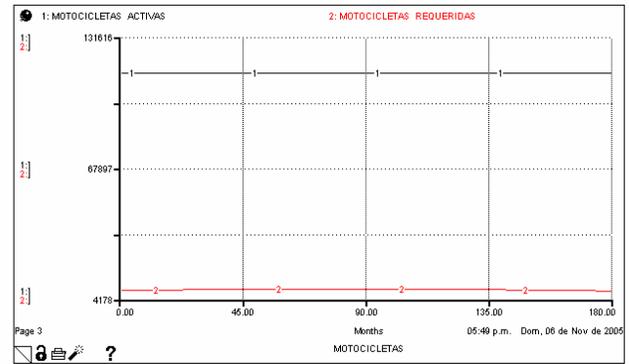


Fig. 14 : Motocicletas Activas y Requeridas – Valle de Aburrá (2004-2019)

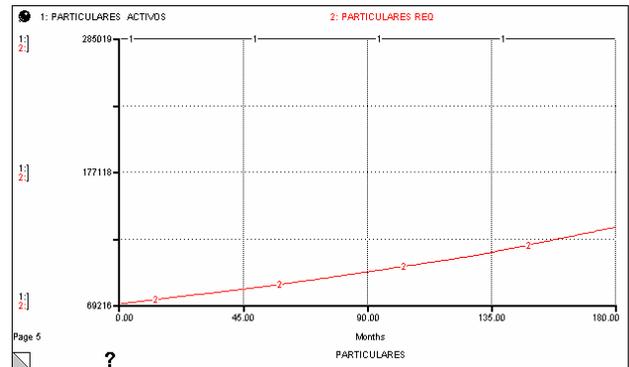


Fig. 15 : Vehículos Particulares Activos y Requeridos – Valle de Aburrá (2004-2019)

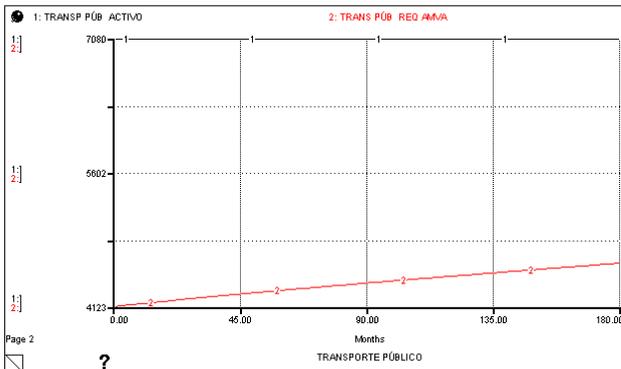


Fig. 12 : Transporte Público Activo y Requerido – Valle de Aburrá (2004 –2019)

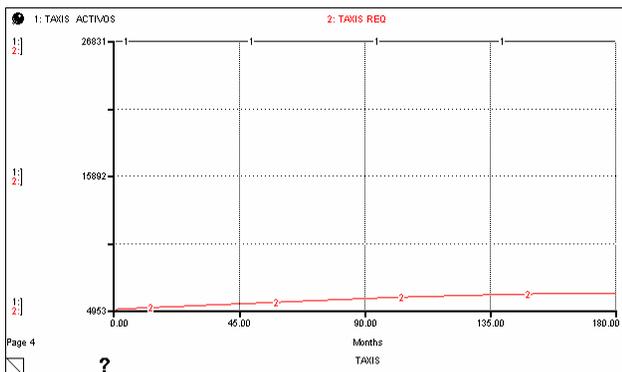


Fig. 13 : Taxis Activos y Requeridos- Valle de Aburrá (2004-2019)

VI. CONCLUSIONES

Sin desconocer que son muchos los aspectos que no se abarcan de manera puntual en este trabajo, y que de todos modos, el campo de estudio es demasiado amplio, se concluye que la movilidad es un sistema posible de representar a través de un modelo dinámico; sobre el cual se puede trabajar, por medio de políticas con el fin de tomar las mejores decisiones administrativas.

RECONOCIMIENTO

La Fundación ECSIM agradece a la Alcaldía de Medellín, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Gobernación de Antioquia y la Cámara de Comercio de Medellín por el apoyo financiero y la información brindada para la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] I. I. Robles Amador. (2003). “La elección de medios de Transporte en la Ciudad de México.” [En línea]. Disponible:
http://www.pue.udlap.mx/~tesis/lec/robles_a_ii/
- [2] Tranvivo. (2004). “La Espiral de Deterioro del Transporte Público.” [En línea]. Disponible:
http://www.revistatranvia.cl/tranvivo/conociendo/espiral_tp.html
- [3] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, *Proyecto Metrópoli 2002-2020: Plan Integral de Desarrollo Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín, 2002. 212p.
- [4] J. D. Sterman, *Business Dynamics: System thinking and modeling for a complex world*. Estados Unidos: McGraw Hill, 2000. 982 p.
- [5] S. Huang. (2003). “Urban indicators as measurements of Taiwan’s sustainability.” [En línea]. Disponible:
www.tei.or.th/pdfdoc/TaiwanUrban.pdf

AUTORES

Yessica Catalina González Londoño

Ingeniera Administradora de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Actualmente Investigadora de la Fundación ECSIM, desarrollando modelos de simulación basados en Dinámica de Sistemas.

Diego Fernando Gómez Sánchez

Ingeniero de Producción de la Universidad EAFIT, con estudios de pregrado en Economía en la Universidad de Antioquia, y maestría en Economía en la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente hace estudios de doctorado con énfasis en Dinámicas de Transformación Social en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional. Director de la Fundación ECSIM. Investigador y consultor en temas de desarrollo económico, gestión tecnológica y prospectiva económica y sectorial

Modelo de Simulación de Requerimientos de Espacios Urbanísticos

GONZÁLEZ LONDOÑO, Yessica Catalina., GÓMEZ SÁNCHEZ, Diego Fernando

yescata@yahoo.com, diegogomez@epm.net.co

Fundación ECSIM – Centro de Estudios en Economía Sistémica

Resumen—El Modelo de Simulación de Requerimientos de Espacios Urbanísticos tiene por objetivo contribuir al entendimiento de las dinámicas de crecimiento de una región, para poder determinar los requerimientos urbanos en torno a la expansión de la actividad económica y del consumo de las familias. Para ello se consideran los metros cuadrados demandados por las viviendas con base en el ingreso del hogar, y los metros cuadrados demandados por los Sectores Económicos con base en los requerimientos de empleo. Se considera además una variable denominada Factor de Atractividad que modula de una u otra manera la migración dentro de una región. El modelo permite obtener como resultado el índice de factor de atractividad, el índice de densidad poblacional, el déficit de vivienda y la demanda de suelo por usos para los municipios del Valle de Aburrá.

Índice de Términos—Territorio, Viviendas, Factor de Atractividad, Ingreso, Sectores Económicos.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento progresivo de la población y tras de sí, la necesidad de expansión de los núcleos residenciales, comerciales, recreativos, culturales, institucionales, religiosos, industriales y viales, implican una adaptación de las áreas urbanísticas existentes y una concepción distinta de los futuros espacios urbanos.

Los municipios del Valle de Aburrá¹ no son ajenos a esta realidad. El Valle de Aburrá es la región del Departamento de Antioquia en donde mayor densidad poblacional se presenta. En una extensión de 1.152 km², que constituyen sólo el 1.8% del departamento, se encuentra asentada el

¹ La conformación del Valle de Aburrá, es el resultado de la unidad geográfica, determinada por la cuenca del río Aburrá que lo recorre de sur a norte. Los municipios que lo conforman son: Barbosa, Bello, Caldas, Envigado, La Estrella, Girardota, Itagüí, Medellín, Sabaneta y Copacabana.

55.6% de la población de Antioquia, situación que ha incidido notablemente en la generación de una serie de desequilibrios en los aspectos físicos, económicos, sociales y ambientales, lo cual ha dado como resultado un alto deterioro de la calidad de vida para sus habitantes.

Es así como, a través de la simulación de espacios urbanísticos y, como tal, del entendimiento de las dinámicas de expansión y crecimiento, que se pretende contribuir a la formulación de políticas de planeación acordes con la situación actual. .

En este trabajo se presenta, inicialmente, un breve marco teórico de crecimiento urbano y económico. Luego, en la búsqueda de una idea general sobre lo que se ha trabajado en el mundo, se presentan algunos diagramas causales, relacionados con el tema de espacio urbano e investigados por estudiosos de Dinámica de Sistemas. Posteriormente, basados en la teoría y los diagramas causales expuestos, se presenta la propuesta de modelo de simulación de requerimientos de espacios urbanísticos, apoyada en la herramienta Dinámica de Sistemas y el software IThink ®. Por último, se presentan algunos resultados.

II. MARCO TEÓRICO

A. Crecimiento y Espacio Urbano

La urbanización del territorio esta íntimamente relacionada con la concentración de funciones de control territorial y, especialmente, con la articulación de mecanismos de crecimiento económico. Entre las diversas razones que los estudiosos de temas urbanos han expuesto para explicar la ubicación y movimiento de las personas, la más obvia y menos objetada ha sido la relación con la ubicación de las actividades económicas [1].

La concentración de la población en las ciudades, a raíz de la centralización del desarrollo económico en relativamente pocas áreas urbanas, ha acarreado economías de aglomeración (a mayor concentración espacial, menores costos de producción), que en un principio presentan ventajas tanto en la provisión de servicios públicos como en el desarrollo privado de industrias, pero que a largo plazo pueden desatar graves problemas para la ciudad.

B. Densidad Poblacional

La densidad de población es un índice que mide el volumen de población con respecto al territorio, en pocas palabras es la cantidad de habitantes que viven por kilómetro cuadrado, y se calcula dividiendo el número de habitantes entre el área considerada [2].

C. Efectos de un mejor ingreso

La calidad de la vivienda es uno de los indicadores más claros sobre el nivel de vida de la población, ya que existe una estrecha relación entre la calidad de la vivienda y el ingreso recibido por cada familia [3]. Cuando aumenta el ingreso, los individuos normalmente desean comprar bienes y servicios que mejoren su nivel de vida.

En lo que a desarrollo urbano se refiere, una región en crecimiento muestra al menos dos efectos que reflejan la maximización del bienestar de las personas. En primer lugar, el mayor ingreso se traduce en un crecimiento de la demanda sobre aquellos bienes con elasticidad ingreso positiva. En segundo lugar, existe un aumento en la demanda de vivienda, traduciéndose esto en viviendas más grandes y mayores servicios a nivel urbano, como áreas verdes y equipamientos [4].

A raíz de esto, la expansión de la ciudad, en términos de ocupación de suelo, se acelera, pues el crecimiento de las áreas urbanas del país, así como las viviendas demandadas para dar cabida al crecimiento de la población, generan una gran demanda de suelo. Dicha demanda en muchas ocasiones no se puede suplir, dando lugar, entre otras cosas, a un déficit de vivienda que impacta directamente en el funcionamiento de la ciudad [5].

D. Actividades Económicas y Usos del Suelo

El impacto espacial de las transformaciones económicas se manifiesta en tres vertientes: La ocupación de espacios por nuevas instalaciones; la ocupación de espacios por ampliaciones y mejoras; y la reactivación y reestructuración de espacios para el transporte.

III. MODELOS DE ESPACIO URBANO DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

A continuación se presentan, con su respectiva explicación, cuatro diagramas causales sobre el tema de espacio urbano. Algunas de las ideas representadas en dichos diagramas causales se consideran en el modelo propuesto por la Fundación ECSIM.

A. Dinámica Urbana

Uno de los trabajos más importantes de la década de los setenta con respecto a la incorporación de la Dinámica de Sistemas en el tema de la planificación regional, y que le dio continuidad a los trabajos de Jay Forrester, fue el realizado por Alfred y Edward Graham (considerados sus discípulos) bajo el título: *Introduction to Urban Dynamics* [6].

El diagrama causal de la Fig. 1 expone la dinámica urbana planteada en su trabajo.

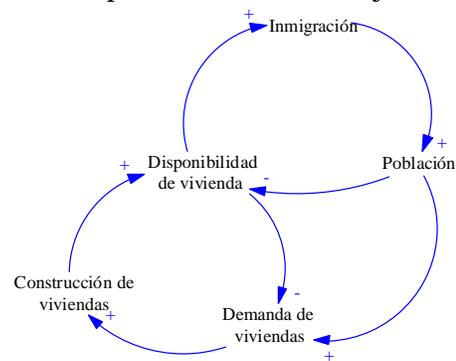


Fig. 1: Dinámica Urbana

Bajo este diagrama causal la disponibilidad de vivienda es la que modula la migración fuera y dentro de un área. Como caso extremo, si no hay ninguna disponibilidad de vivienda en un área, nadie se puede mudar allí, independiente de qué otras atracciones tiene el área. La disponibilidad de vivienda estimula un fuerte flujo de inmigración, la

cual al mismo tiempo aumenta la población. Los inmigrantes ocupan el exceso de vivienda, disminuyendo la disponibilidad de vivienda.

La disponibilidad de vivienda también ejerce influencia sobre la construcción de vivienda, porque los constructores y diseñadores no pueden obtener ganancias sobre la construcción y mercadeo de viviendas que no tienen demanda. En condiciones de disponibilidad de vivienda, los dueños de las viviendas tienen gran dificultad arrendando o vendiendo las casas. Bajos arrendamientos y bajos precios de venta pueden causar pérdidas para los dueños. Con estas condiciones, constructores y diseñadores obviamente tienen poca motivación para construir nuevas viviendas.

B. Modelo de Integración Socioeconómica de la Población

Este modelo es un trabajo de proyección de la población basado en variables de orden demográfico, geográfico y económico, utilizado en Argentina por el Instituto de Estadísticas y Censos, y la Dirección de Estadísticas de la Provincia de Buenos Aires [7].

Considera que la evolución de la población depende de la fracción de la población con necesidades básicas satisfechas e insatisfechas (NBI), de la superficie total y urbanizada, y del Producto Bruto Geográfico.

De las ideas de este trabajo se obtuvo el siguiente diagrama causal (Ver Fig. 2):

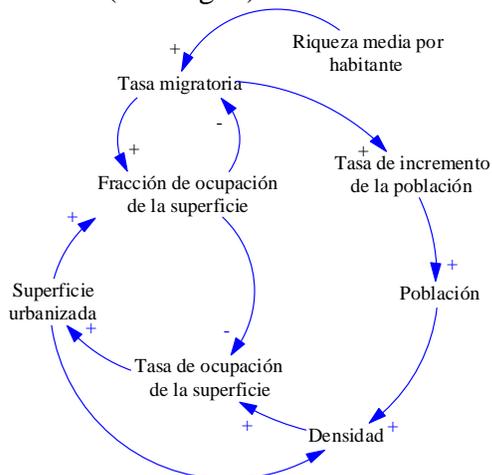


Fig. 2 : Modelo de Integración Socioeconómica de la Población

Para la comprensión de este diagrama es importante considerar lo siguiente:

- La superficie total está compuesta por áreas urbanizadas, áreas no urbanizadas y por superficies restringidas para urbanizaciones (regimientos, bosques, aeropuertos, etc.).
- Se considera superficie urbanizada la ocupada por unidades territoriales rodeadas por vías de comunicación.
- La fracción de ocupación es la fracción de la superficie que está urbanizada. La fracción de la superficie urbanizada que constituye la variación anual se llama tasa de urbanización.
- La tasa de variación de la población es el factor que indica como se produce la variación anual de la población e incluye a la variación vegetativa y a la variación migratoria.
- La densidad de población está dada por el número de personas sobre la extensión del territorio.

C. Modelo de Desarrollo

Donald Drew² plantea en uno de sus libros: *Dinámica de Sistemas Aplicada*, un modelo de sistema urbano en donde incluye siete sectores: población, industria, vivienda, empleo, suelo, zonas periféricas y transporte [8].

A continuación se muestra el diagrama causal, correspondiente al tema de espacios urbanísticos, obtenido a raíz de las ideas expuestas en su trabajo (Ver Fig. 3).

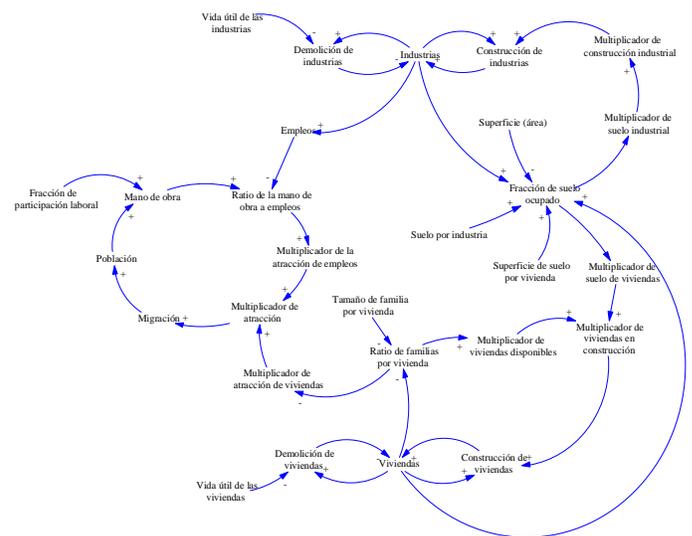


Fig. 3 : Modelo de Desarrollo

De este modelo sobresalen las siguientes ideas:

- 1) La migración está influenciada por un “multiplicador de atracción”, que depende a su vez de la disponibilidad de empleo y vivienda. La migración incrementa la población y por tanto la mano de obra de la zona.
- 2) Las industrias crean más industrias por medio de la construcción de las mismas. Las condiciones dentro del área urbana, tales como la disponibilidad de mano de obra y suelo que alientan o deprimen la construcción, respectivamente, por encima o por debajo de la fracción normal, son tenidas en cuenta por un multiplicador de construcción industrial.
- 3) La población determina el tamaño de la fuerza laboral, es decir, la “demanda” de empleo. La industria crea empleo, y representa el papel de la “oferta” en la interacción. En el sector del Suelo, la industria y la vivienda compiten por el suelo. La disponibilidad del suelo influye en la expansión de la industria y la vivienda a través de los parámetros, Multiplicador del Suelo Industrial y Multiplicador del Suelo para Viviendas.

D. Criterios Ambientales para la Vivienda y el Hábitat en el Valle de Aburrá

Este estudio fue realizado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, a través del Centro de Estudios del Hábitat Popular (Cehap), y mediante contrato con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá³, como parte de su Programa de Fortalecimiento Institucional para la Gestión Ambiental Urbana, FIGAU cofinanciado por el Banco Mundial [9].

Algunas de las hipótesis planteadas en este estudio son:

- 1) La expansión urbana es una consecuencia primaria del crecimiento de población, que no se genera en forma espontánea y tanto la expansión como el crecimiento inciden sobre el suelo rural y sobre el espacio urbano con un peso ambiental

muy importante.

2) Aunque en la legislación colombiana se han regulado los usos del suelo urbano teniendo en cuenta sus restricciones, potencialidades y aprovechamiento natural, el establecimiento real de los usos responde a múltiples factores, intereses y necesidades sociales y económicas.

3) La calidad del aire, que es afectada negativamente por emisiones de fuentes de contaminación móviles y fijas, está directamente relacionada con el consumo de energía, la densidad poblacional, el transporte de vehículos de motor y la concentración de las industrias.

4) La situación demográfica en el Valle de Aburrá, unida a los altos índices de ocupación generan considerables grados de hacinamiento, insuficiencia de equipamientos y escasez de espacio público, que ocasionan un deterioro en la calidad de vida de los habitantes.

5) Ligado al comportamiento recesivo de la economía en general está el comportamiento cíclico del sector de la construcción, el bajo nivel de ingresos y la dificultad de acceso a la vivienda digna.

A partir de estas hipótesis, las ideas y los diagramas expuestos en el estudio, se obtuvo el siguiente diagrama causal (Ver Fig. 4).

² Profesor de Ingeniería en la Universidad Estatal y el Instituto Politécnico de Virginia. Tiene más de 10 años de experiencia como ingeniero de diseño y proyectos, y más de 30 años como profesor de Ingeniería de Sistemas.

³ Entidad Administrativa gestora del desarrollo de la Región del Valle de Aburrá.

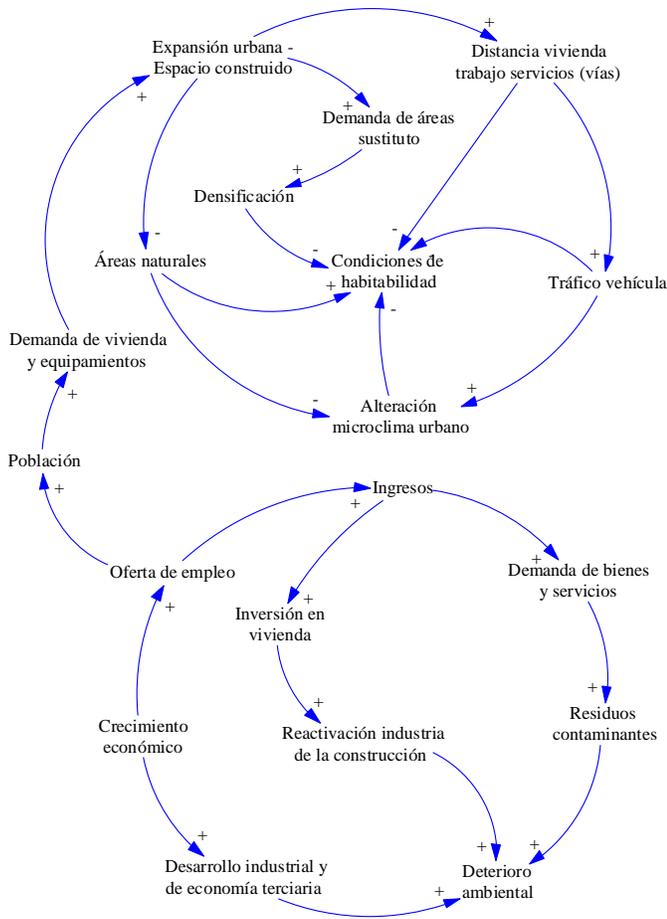


Fig. 4 : Criterios Ambientales para la Vivienda y el Hábitat en el Valle de Aburrá

De este diagrama causal se puede decir lo siguiente:

- 1) El crecimiento económico conlleva aumentos en la oferta de empleo, que inciden en el crecimiento poblacional por inmigración y subsecuentemente en la disponibilidad de ingresos.
- 2) El aumento de la población por crecimiento vegetativo y por inmigración, sumado al déficit acumulado de vivienda, genera una alta demanda de vivienda, infraestructura y equipamientos que para su satisfacción exige cada día más espacio apto para construir.
- 3) El crecimiento poblacional se relaciona en el diagrama con los efectos del incremento del espacio construido que generan demandas de áreas sustitutas. Uno de estos efectos es el aumento de las distancias entre el sitio de vivienda y el de trabajo o el de la fuente de bienes y servicios, el cual obliga al incremento en el

transporte.

4) Al lado del incremento del tráfico vehicular, la reducción de las áreas naturales repercute en la alteración del microclima urbano, por el aumento de contaminación y la reducción de la capacidad del sistema para asimilarla.

5) La densificación puede traducirse en la reducción de los estándares de calidad de vida y de habitabilidad, en tanto se reducen los espacios vitales, se incrementa la ocupación de vías, espacios públicos, servicios comunitarios y otros, lo que podría implicar hacinamiento y estilos de vida perjudiciales.

IV. DIAGRAMA CAUSAL DE REQUERIMIENTOS DE ESPACIOS URBANÍSTICOS PLANTEADO POR ECSIM

El diagrama causal planteado por ECSIM, que intenta ilustrar la relación existente entre el crecimiento económico y los requerimientos de espacios urbanísticos, tiene como base los diagramas causales expuestos anteriormente, y por tanto las relaciones causales ya estudiadas.

Antes de mostrar el diagrama causal completo, se presentan los tres componentes claves del mismo y sus relaciones: Actividad Económica, Población y Suelo (Ver Fig. 5).

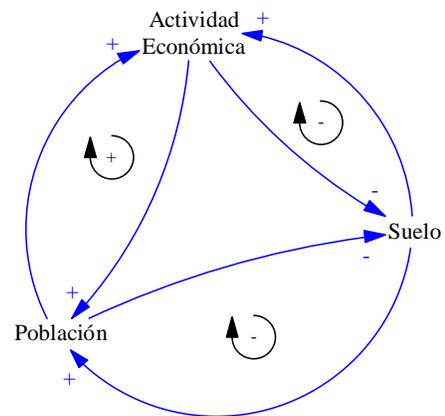


Fig. 5 : Variables claves del Modelo

Un incremento en el tamaño de la población, afecta las actividades económicas, a través de la fuerza labor. Las actividades económicas atraen población; dicha inmigración da lugar a una mayor demanda de tierra, especialmente por vivienda, y por tanto, reduce el suelo disponible. Por otro lado,

a mayor cantidad de actividades económicas mayor es la necesidad de espacio, disminuyendo de igual manera el suelo disponible. Mientras menor sea el suelo disponible de la región menos atractiva resulta ser para la población y para el establecimiento de actividades económicas.

A continuación (Fig. 6) se presente el diagrama causal completo:

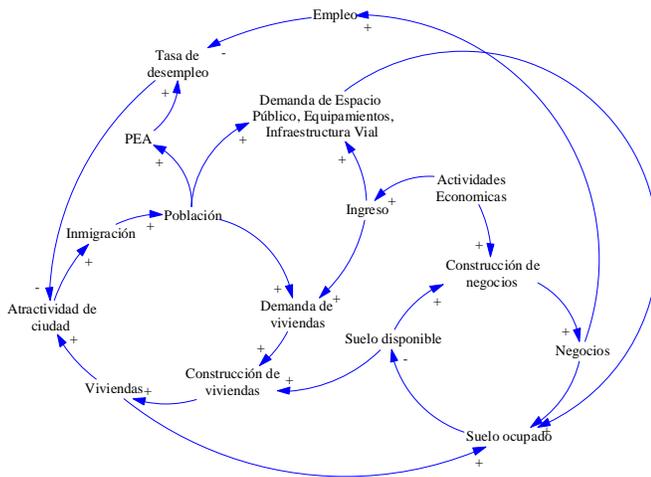


Fig. 6 : Diagrama Causal – Requerimientos Urbanos

V. PROPUESTA DE MODELO DE SIMULACIÓN DE REQUERIMIENTOS URBANOS

El modelo de simulación de espacios urbanísticos tiene como objetivo establecer, para la expansión de la actividad económica, los requerimientos de metros cuadrados de áreas urbanas, empresariales y de vivienda.

A. Hipótesis de Modelo

Antes de estudiar las variables y sus relaciones dinámicas es importante conocer las hipótesis del modelo, las cuales se plantean a continuación:

- 1) Cuando aumenta el ingreso, los individuos aumentan el consumo y normalmente desean comprar bienes y servicios que mejoren su nivel de vida, tales como vivienda.
- 2) El impacto espacial de las transformaciones económicas se manifiesta a través de la ocupación de suelo.
- 3) El territorio total no crece, a menos que haya expansión de los límites de la ciudad. Con base en esto, el suelo se transforma; es decir, el

incremento o expansión del suelo ocupado implica una disminución en el suelo disponible.

4) Los planes de ordenamiento territorial clasifican el territorio de los municipios en suelo urbano, rural y de expansión urbana. Al interior de estas clases pueden establecerse las categorías de suburbano y de protección, de conformidad con los criterios generales establecidos en la Ley 388 de 1997.

5) El suelo rural sólo disminuye, no aumenta. La disminución de metros cuadrados de suelo rural implica un aumento de suelo de expansión, y la disminución de metros cuadrados de suelo de expansión se traduce en nuevos metros cuadrados de otros usos del suelo.

6) El suelo ocupado por viviendas se incrementa a través de la construcción de nuevas viviendas y la expansión de las ya existentes.

7) Los suelos ocupados por otros usos, diferentes del de vivienda, varían de acuerdo al número de metros cuadrados demandados a raíz del crecimiento poblacional y económico.

8) Las políticas de asignar mayor cantidad de metros cuadrados para un uso específico son decisiones administrativas que se representan en el modelo a través de variables exógenas.

9) El factor de atractividad de una región depende de las siguientes variables: densidad poblacional, empleo, disponibilidad de servicios públicos, seguridad, educación, viviendas disponibles e ingreso per cápita. Mientras más atractiva es una región mayor es la tasa de inmigración.

B. Factor de Atractividad

Cuando se piensa en los factores de atracción de una ciudad, normalmente a lo que primero se hace referencia es a las condiciones económicas de dicha región, que son las que finalmente generan los ingresos para satisfacer un nivel de vida deseado. Sin embargo, el desarrollo económico, aún cuando tiene gran importancia, no es el único factor que impulsa el movimiento demográfico.

Es por esta razón que el factor de atractividad se mide en este trabajo a través de un promedio ponderado de otras variables características de la

ciudad (Ver Fig. 7). Una ciudad atrae población siempre y cuando ofrezca a sus habitantes seguridad ciudadana, los servicios públicos necesarios, educación, empleo, vivienda y un nivel de ingreso adecuado.

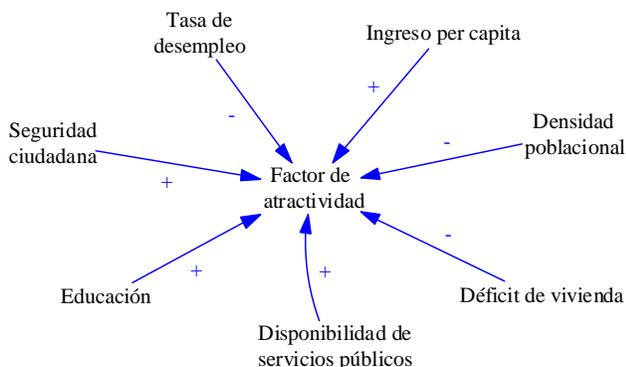


Fig. 7 : Componentes del Factor de Atractividad

El factor de atractividad se calcula a través del promedio ponderado de estas 7 variables, donde cada una tiene un peso equivalente a la importancia que tiene para el Valle de Aburrá dicha variable para poder atraer o no gente. Es así como el factor de atractividad varía entre cero y uno. Donde un valor cercano a cero expulsa población, mientras que un valor cercano a uno la atrae.

La Fig. 8 presenta el Diagrama de Forrester planteado para hallar el índice de factor de atractividad en el modelo.

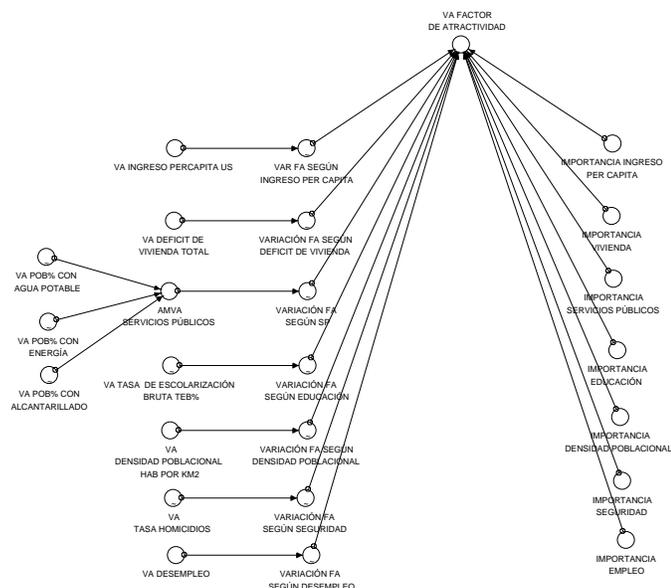


Fig. 8 : Factor de Atractividad

C. Vivienda

En el contexto de los usos del suelo, la vivienda

ocupa una gran parte del suelo urbano en las ciudades. Es por ello que para estudiar la ocupación de territorio en una ciudad, es importante analizar el tema de la vivienda.

La demanda de viviendas es condicionada por el número de hogares de una población, dato que se obtiene de dividir la población total por el número de personas que tiene en promedio una familia.

Con el dato de número de viviendas por familia, y bajo el supuesto que cada familia ocupa una vivienda, es posible hallar el total de viviendas requeridas; que a su vez permite calcular el déficit de vivienda, una vez se compara con el total de viviendas existentes.

La construcción de viviendas está en función de la cantidad de instalaciones de energía residencial en los municipios del Valle de Aburrá (Ver Tabla I). A partir del dato histórico de instalaciones de energía entre 1999 y 2004 se obtiene una tasa geométrica, que se aplica para los siguientes 15 años de simulación (2004-2019)⁴. A través de la multiplicación de la tasa geométrica de construcción por el dato de las viviendas construidas en el año inicial de la simulación (2004) para cada uno de los municipios, se obtiene el incremento de viviendas por municipio.

TABLA I.
INSTALACIONES RESIDENCIALES – VALLE DE ABURRÁ

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Valle de Aburrá	666,311	702,209	723,743	755,156	787,712	810,650
Medellín	437,662	458,366	476,237	498,019	518,287	531,357
Barbosa	8,571	11,191	11,390	11,604	11,845	11,986
Bello	74,022	77,818	78,869	81,315	87,046	90,269
Caldas	13,347	14,686	15,008	15,392	15,685	16,040
Copacabana	14,290	14,712	15,381	15,972	17,177	17,541
Envigado	37,974	39,733	39,069	42,530	44,939	47,930
Girardota	10,484	9,438	9,763	10,112	10,349	10,531
Itaguí	49,980	54,126	55,284	56,864	58,227	59,827
La Estrella	11,061	12,394	12,547	12,805	13,262	13,658
Sabaneta	8,920	9,745	10,195	10,543	10,895	11,511

Fuente: Empresas Públicas de Medellín

Por otro lado, se plantea una variable denominada tasa de disminución, pues el número total de viviendas disminuye por demoliciones, cambios de uso o políticas tomadas, y esto no se puede desconocer en el modelo. Sin embargo, como no se tiene información para esta variable debido a que dicha situación no se presenta con mucha frecuencia en el Valle de Aburrá (ya que las demoliciones se

⁴ Periodo de Simulación del Modelo.

traducen en cambios de uso), el valor introducido al modelo para la tasa de disminución es igual a cero.

A continuación (Fig. 9) se presenta el diagrama de Forrester para la vivienda en el modelo. Está determinado para cada uno de los municipios que conforman el Valle de Aburrá.

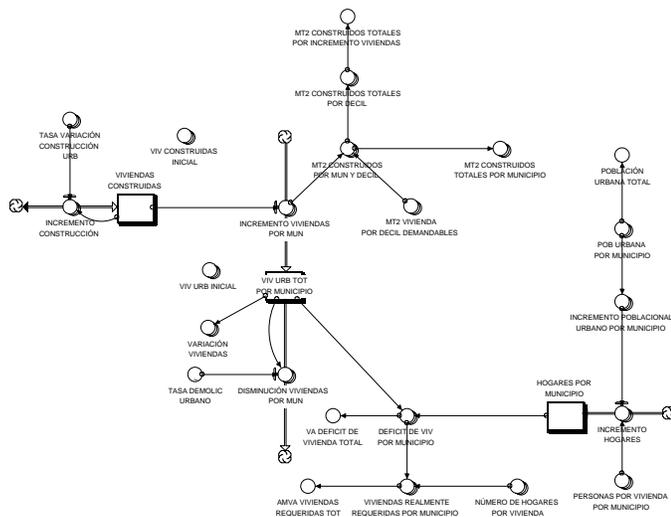


Fig. 9 : Diagrama de Forrester de Vivienda

A partir del flujo Incremento de Viviendas por municipio y la variable exógena metros cuadrados de vivienda demandados es posible obtener los nuevos metros cuadrados construidos.

Los metros cuadrados de vivienda demandados depende del ingreso del hogar en el año⁵ (Ver Fig. 10).

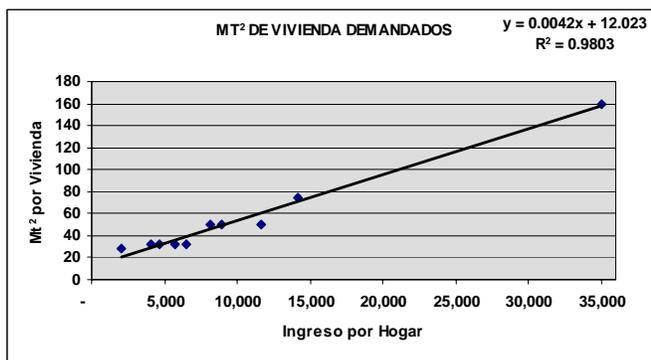


Fig. 10 : Mt² demandados por vivienda según Ingreso

D. Dinámica Territorial

La dinámica territorial se basa en la clasificación del suelo establecida en la Ley 388 de 1997, Ley de

Ordenamiento Territorial [10]; en donde se plantea que los planes de ordenamiento territorial clasificarán el territorio de los municipios y distritos en suelo urbano, rural y de expansión urbana, y que al interior de estas clases podrán establecerse las categorías de suburbano y de protección.

Constituyen el suelo urbano, las áreas del territorio distrital o municipal destinadas a usos urbanos por el plan de ordenamiento, que cuenten con infraestructura vial y redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado, posibilitándose su urbanización y edificación, según sea el caso.

El suelo rural lo constituyen los terrenos no aptos para el uso urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas.

En la Tabla II, se presentan los datos de área total, urbana y rural ingresados al modelo para los municipios del Valle de Aburrá.

TABLA II
ÁREA TOTAL, URBANA Y RURAL POR MUNICIPIO – VALLE DE ABURRÁ

	EXTENSIÓN TOTAL (Km ²)	% ÁREA URBANA	% ÁREA RURAL
Valle de Aburrá	1152	0.149	0.851
Medellín	382	0.289	0.711
Barbosa	206	0.008	0.992
Bello	149	0.123	0.877
Caldas	150	0.020	0.980
Copacabana	70	0.064	0.936
Envigado	50	0.216	0.784
Girardota	78	0.063	0.937
Itagüí	17	0.615	0.385
La Estrella	35	0.085	0.915
Sabaneta	15	0.281	0.719

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Se define como suelo de expansión las áreas del territorio aptas para desarrollos urbanos que se van a habilitar como tales a corto, mediano o largo plazo. Dichos suelos podrán ser urbanizados y construidos simultáneamente, según el caso, para dotarlos de infraestructura vial, de transporte, servicios públicos domiciliarios, áreas libres, parques y equipamiento colectivo de interés público o social, utilizando para este fin los procedimientos e instrumentos que establece la ley y el Plan de Ordenamiento Territorial.

⁵ Esta gráfica se calculó a partir de los datos arrojados por la Encuesta de Calidad de Vida 2004 realizada en el municipio de Medellín.

Constituyen la categoría de suelo suburbano las áreas ubicadas dentro del suelo rural, en las que se mezclan los usos del suelo y las formas de vida del campo y la ciudad, diferentes a las clasificadas como áreas de expansión urbana, que pueden ser objeto de desarrollo con restricciones de uso, de intensidad y de densidad, garantizando el autoabastecimiento en servicios públicos domiciliarios.

El suelo de protección está constituido por las zonas y áreas de terrenos localizados dentro de cualquiera de las anteriores clases (urbano, rural y de expansión), que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse.

En el modelo se consideran, además, los diferentes usos del suelo. Es por ello que se calcula el suelo ocupado por viviendas, equipamientos urbanos, espacio público, industrias, empresas de comercio y servicios, y sistema vial.

Se considera de uso residencial todo terreno que de acuerdo con el concepto general de urbanizaciones se adecue específicamente para el uso principal de la vivienda.

Se entiende por uso comercial la actividad destinada al intercambio de bienes al por mayor o al detal. Se consideran como servicios las actividades de apoyo a la producción y al intercambio de bienes, o que satisfacen necesidades cotidianas o básicas de la población.

El uso industrial corresponde a aquella actividad que tiene por objeto el proceso de transformación de materias primas.

El sistema vial establece la infraestructura física de soporte para la movilización de personas, bienes y servicios.

El espacio público es el conjunto de inmuebles públicos y los elementos arquitectónicos y naturales de los inmuebles privados destinados por naturaleza, usos o afectación a la satisfacción de necesidades urbanas colectivas que trascienden los límites de los intereses individuales de los habitantes [11]. En este modelo se considera como espacio público el de carácter permanente, conformado por zonas verdes, parques, plazas y plazoletas.

Finalmente, los equipamientos hacen referencia a las edificaciones en las cuales se cumplen funciones de uso colectivo o prestación de algunos servicios de uso colectivo.

En la Fig. 11 se muestra el diagrama de Forrester que representa la Dinámica Territorial:

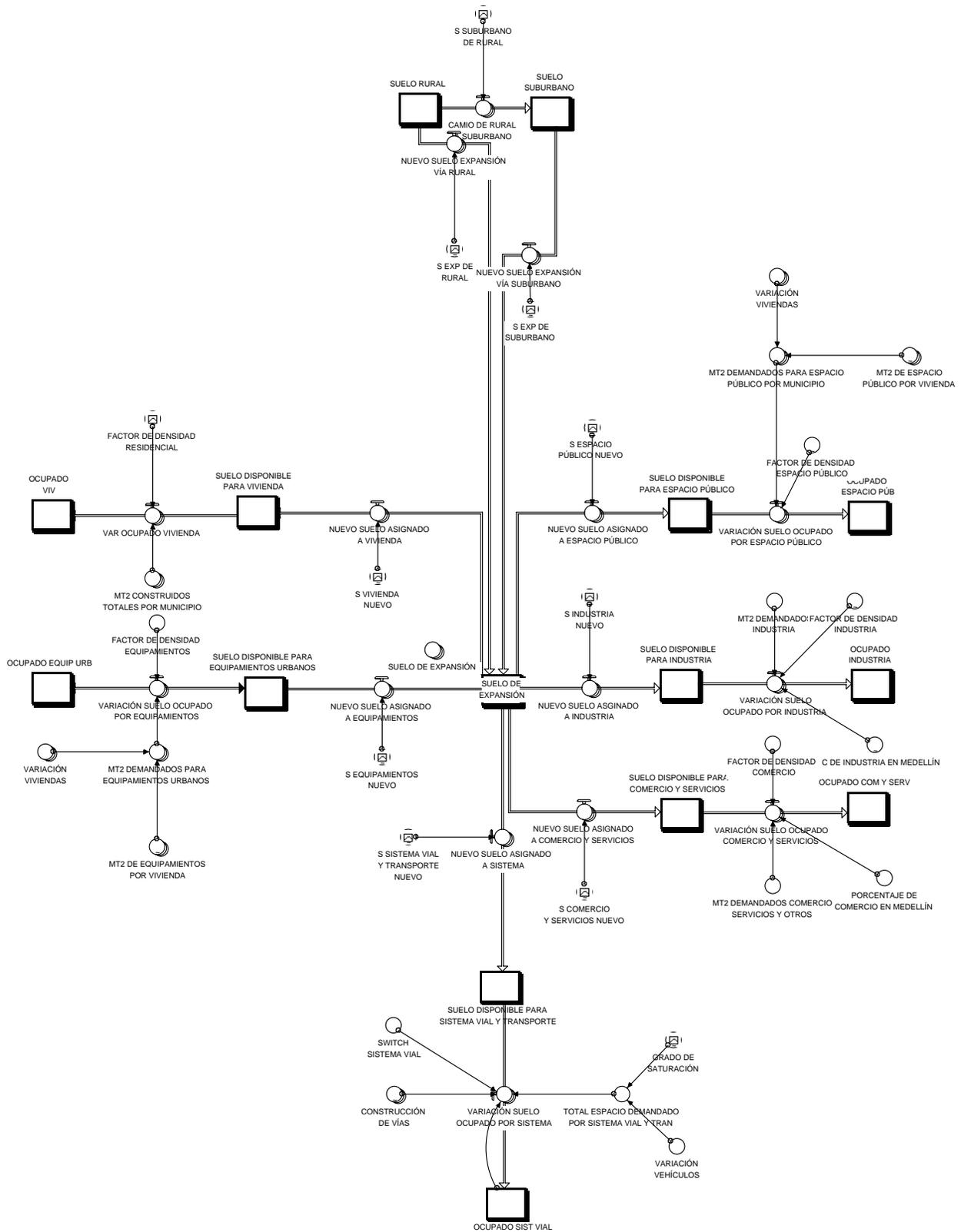


Fig. 11: Diagrama de Forrester - Dinámica Territorial

Una vez identificados los tipos de suelo y sus usos se determina de qué manera se incrementan los suelos ocupados. Para esto se consideran los metros cuadrados destinados a cada elemento por el plan de ordenamiento territorial de cada municipio. También es necesario considerar la demanda de metros cuadrados que exige la expansión de cada uno de los territorios. Este dato se obtiene de diversas simulaciones hechas a partir de otros modelos. Es importante tener en cuenta que todo el modelo se trabaja en unidades de metros cuadrados.

El suelo de expansión es una variable que se incrementa a partir de la disminución del suelo rural o suburbano; es un nivel de transición, donde, por medio de políticas administrativas, se transforman metros cuadrados de suelo rural o suburbano en suelo urbano apto para la construcción.

Los flujos de entrada y salida planteados en el modelo varían de acuerdo a las variables exógenas que se listan en la Tabla III.

TABLA III
VARIABLES EXÓGENAS – DINÁMICA TERRITORIAL

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Factor de Densidad por Usos	Relación entre al área construida de la edificación y el área del predio. Factor de Densidad Uso Residencial = 1.5 Factor de Densidad Uso Industrial = 1 Factor de Densidad Uso Comercial, Servicios y Otros = 1 Factor de Densidad Espacio Público=1 Factor de Densidad Equipamientos=1
Decisión POT nuevo suelo asignable vía expansión	Política o decisión administrativa de asignar para la construcción en suelo urbano, metros cuadrados del suelo de expansión. Dichos metros cuadrados dejan de ser parte del suelo de expansión y pasan a ser suelo asignable.
Decisión POT nuevo suelo asignable vía rural	Política o decisión administrativa de asignar para la construcción en suelo urbano, metros cuadrados del suelo rural. Dichos metros cuadrados dejan de ser parte del suelo rural y pasan a ser suelo de expansión.
Decisión POT nuevo suelo vivienda	Política o decisión administrativa de aumentar el suelo para construir vivienda.
Decisión POT nuevo suelo industria	Política o decisión administrativa de aumentar el suelo de empresas industriales.
Decisión POT nuevo suelo comercio y servicios	Política o decisión administrativa de aumentar el suelo para construir empresas de comercio y servicios
Decisión POT nuevo suelo espacio público	Política o decisión administrativa de aumentar el suelo de espacio público
Decisión POT nuevo suelo equipamientos	Política o decisión administrativa de aumentar el suelo de equipamientos
Decisión POT nuevo suelo sistema vial y transporte	Política o decisión administrativa de aumentar el suelo para construir infraestructura vial.
Metros cuadrados demandados para expansión industrial	Cantidad de metros cuadrados de suelo demandados para construir industria según el desarrollo económico.
Metros cuadrados demandados para expansión comercio, servicios y otros.	Cantidad de metros cuadrados de suelo demandados para construir empresas comerciales y de servicios, y otras, según el desarrollo económico.
Metros cuadrados demandados para sistema vial y transporte	Cantidad de metros cuadrados de suelo demandados para construir infraestructura vial y de transporte que soporte el desarrollo.
Metros cuadrados de espacio público por vivienda	Cantidad de metros cuadrados de espacio público que demanda una vivienda para tener un nivel de vida adecuado.
Metros cuadrados de equipamientos por vivienda	Cantidad de metros cuadrados de equipamientos que demanda una vivienda para satisfacer las necesidades de sus habitantes.

E. Resultados

Este modelo fue aplicado al Valle de Aburrá del departamento de Antioquia y actualmente está siendo utilizado como herramienta de planeación y toma de decisiones metropolitanas.

A continuación se presentan algunas de las gráficas obtenidas de una simulación tendencial.

RECONOCIMIENTO

La Fundación ECSIM agradece a la Alcaldía de Medellín, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Gobernación de Antioquia y la Cámara de Comercio de Medellín por el apoyo financiero y la información brindada para la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] G. Anriquez, W. Foster y O. Melo. (2003). “Patrones de Migración Interna en Chile”. [En línea]. Disponible: <http://www.faiif.puc.cl/extension/agroforuc/Revista21/omelo.pdf>
- [2] Conafovi. (2004). “Densidad de Población”. [En línea]. Disponible: <http://www.conafovi.gob.mx/secciones/glosario/glosario/estado.asp?letra=D>
- [3] Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales. (1987). “Vivienda”. [En línea]. Disponible: <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea32s/ch37.htm>
- [4] Hurtado Vicuña. (2003). “Libertad de ubicación y movimiento: Principios básicos para un desarrollo urbano eficiente.” [En línea]. Disponible: [http://www.loaguire.cl/tex/Libertad de ubicaci%C3%B3n.pdf](http://www.loaguire.cl/tex/Libertad%20de%20ubicacion.pdf)
- [5] Secretaría de Desarrollo Social. (2004). “Dirección General de Suelo y Reserva Territorial: Presentación.” [En línea]. Disponible: <http://www.sedesol.gob.mx/subsecretarias/desarrollourbano/alva/antecedentes.htm>
- [6] L.E. Alfeld y A.K. Graham, *Introduction to Urban Dynamics*. Cambridge, Wright-Allen Press Inc., 1976. 337p.
- [7] R. Baravalle y R. Costa. (2001). “Modelo de Integración Socioeconómica de los habitantes del Conurbano Bonaerense”. [En línea]. Disponible: http://dyses2001.abc.org.ar/papers/paper_1003.doc. 2001.
- [8] D. Drew, *Dinámica de Sistemas Aplicada*. Madrid, 1995.
- [9] Escuela del Hábitat - Cehap, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, *Criterios ambientales para vivienda y hábitat en el Valle de Aburrá*. Medellín, Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2005.173p.
- [10] Congreso de Colombia. “Ley 388 de 1997”. [En línea]. Disponible: www.secretariassenado.gov.co/leyes/L0388_97.HTM - 101k
- [11] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. “Decreto 1504 de 1998”. [En línea]. Disponible: www.minambiente.gov.co/.../Sector%20Desarrollo%20Territorial/Ordenamiento%20Territorial/Dec_1504_1998.pdf

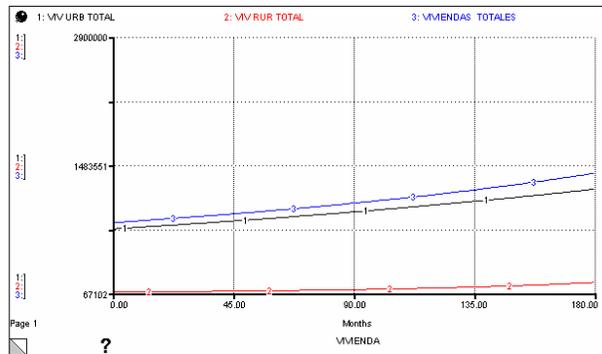


FIG. 12
VIVIENDAS TOTALES, URBANAS Y RURALES - VALLE DE ABURRÁ (2004 -2019)

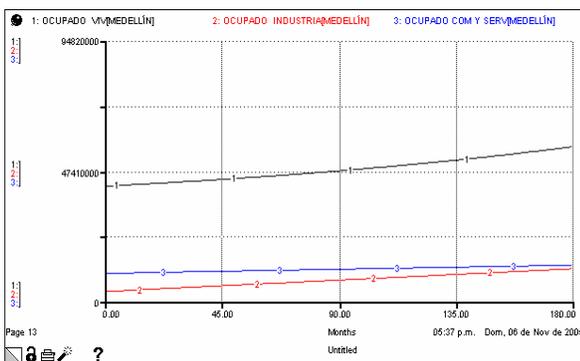


FIG. 13
SUELO OCUPADO (MT²) POR RESIDENCIAS, INDUSTRIA Y COMERCIO – MEDELLÍN (2004 -2019)

VI. CONCLUSIONES

Sin desconocer que son muchos los aspectos que no se abarcan de manera puntual en este trabajo, y que de todos modos, el campo de estudio es demasiado amplio, se concluye que la dinámica territorial es un sistema posible de representar a través de un modelo dinámico; sobre el cual se puede trabajar, por medio de políticas con el fin de tomar las mejores decisiones administrativas.

Se recomienda hacer un análisis más profundo de las variables, tantas internas como externas, que hacen parte de la dinámica territorial, buscando aproximarse cada vez más a la comprensión de la región como ente territorial; sin desconocer que hay otras dinámicas indispensables de modelar para el desarrollo, como lo son las dinámicas económicas, poblacionales, sociales y ambientales.

AUTORES

Yessica Catalina González Londoño

Ingeniera Administradora de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Actualmente Investigadora de la Fundación ECSIM, desarrollando modelos de simulación basados en Dinámica de Sistemas.

Diego Fernando Gómez Sánchez

Ingeniero de Producción de la Universidad EAFIT, con estudios de pregrado en Economía en la Universidad de Antioquia, y maestría en Economía en la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente hace estudios de doctorado con énfasis en Dinámicas de Transformación Social en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional. Director de la Fundación ECSIM. Investigador y consultor en temas de desarrollo económico, gestión tecnológica y prospectiva económica y sectorial.

Política Antinarcóticos en Colombia: Una ilustración del arquetipo de soluciones que fallan.

Díaz Pabón, Fabio Andrés
fa-diaz@uniandes.edu.co
Universidad de los Andes.

Resumen—Este artículo busca realizar un breve análisis de algunas de las políticas implementadas por el gobierno colombiano en su política antinarcóticos durante los últimos 15 años ilustrando los impactos esperados de la ejecución de estas estrategias versus los impactos inesperados, haciendo uso del arquetipo de soluciones que fallan.

Índice de Términos: Cultivos ilícitos, Dinámica de Sistemas, Cocaína, Política Anti-Narcóticos.

I. INTRODUCCION

La preocupación por la presencia de cultivos ilícitos en el país, se ha convertido en un elemento de la política interna que continuamente ha ganado un mayor peso, producto de la influencia de los sembradíos ilícitos sobre otras problemáticas nacionales, como el narcotráfico, el conflicto interno, las relaciones externas del país, entre otras.

Producto de esta inquietud sobre la presencia de cultivos ilícitos en la nación, el gobierno ha desarrollado durante los últimos 8 años una política de fumigación extensiva de cultivos¹, que si bien inicialmente no logro una reducción del área cultivada, en los últimos cuatro años ha alcanzado significativas reducciones del área sembrada, de manera que a finales de 2004 se había logrado que los cultivos se hayan reducido en un 51% frente al área existente en el año 2.000². Esto pareciera justificar la idea que planteaba que una política

contra los cultivos ilícitos debía ser suficientemente contundente para lograr una reducción del área.

Aún así existen una serie de elementos inquietantes que hacen dudar la longevidad que puedan tener estos resultados. Por ejemplo, el censo de los cultivos del año 2004 mostró una menor reducción frente a años anteriores, causado por una fuerte resiembra de cultivos³, o la recomposición regional de los cultivos ilícitos en la cual la reducción del área cultivada en Colombia se ve compensada por un aumento en el área sembrada en Bolivia y Perú⁴.

Adicionalmente, cabe tener en cuenta la población flotante asociada al cultivo y procesamiento de hoja de coca en cocaína, una población que supera los 500.000 habitantes, de manera que si se golpea fuertemente la base de la cadena productiva de la cocaína, generando impacto sobre otras problemáticas sociales, como el conflicto interno, la economía de las regiones (altamente dependientes de los cultivos de coca) y la legitimidad del estado dentro de estas zonas.

Por lo anterior, el objeto del presente artículo es analizar y evaluar de manera cualitativa el posible impacto que una fuerte política represiva puede tener sobre la configuración de los cultivos y

¹ Antes de esta época en el país también eran frecuentes las fumigaciones de los cultivos de coca y amapola (y mucho antes los de marihuana), pero la política de aspersión de cultivos se estableció formalmente en el gobierno del presidente Samper como una política de estado contra los cultivos ilícitos.

² Fundación Seguridad y democracia. COLOMBIA: Censo de cultivos de coca. Junio 2005

³ Fundación Seguridad y democracia. COLOMBIA: Censo de cultivos de coca. Junio 2005

⁴ United Nations office on Drug and Crime (2005), World Drug Report.

vislumbrar que efectos colaterales se pueden generar.

gubernamentales (como el ICG⁶ y el TNI⁷), el gobierno y la ONU a través de la UNODC⁸.

II. OBJETIVOS

El objetivo principal de este artículo es analizar como los efectos colaterales que no son considerados por los planeadores de políticas públicas, si bien en algunas ocasiones permiten demostrar resultados a corto plazo, resultan siendo ineficientes o contraproducentes al largo plazo.

Dentro de este objetivo general se inscriben los siguientes objetivos específicos:

- 1) Analizar el impacto de una política antinarcoóticos enfocada en la aspersión de cultivos ilícitos en el país en los últimos catorce años.
- 2) Evaluar como reacciona el precio de la coca y la cocaína a las políticas de aspersión.
- 3) Estudiar los efectos de la recomposición de los cultivos a nivel nacional y a nivel regional⁵.
- 4) Vislumbrar cuales son los impactos sociales derivados de una política de fumigación extensiva en el país.

III. METODO

Para implementar esta investigación se realizarán los siguientes pasos, de acuerdo a lo planteado por Sterman [19]:

A. *Articulación del problema*

Se realizará un estudio del comportamiento del problema, haciendo una revisión bibliográfica, buscando documentos que traten el tema a la par que se hace un análisis histórico de la evolución del problema en Colombia. Para esto se analizarán ensayos, memorias de seminarios, foros y discusiones que aborden el problema.

Se buscará identificar efectos colaterales que se hayan generado como consecuencia de la actual política antinarcoóticos en el país. Para ello se hará una investigación que comprenda varios puntos de vista, involucrando organizaciones no

B. *Formulación de la hipótesis dinámica*

Para desarrollar la hipótesis se estudiarán las políticas gubernamentales frente a la presencia de cultivos ilícitos (considerando las apreciaciones de opositores y adeptos). Se procederá a estudiar las antiguas políticas del gobierno colombiano y las actuales políticas implementadas. Con base a la información recopilada desarrollarán algunas hipótesis busquen explicar el comportamiento actual de los cultivos ilícitos, intentando prever cual será el comportamiento futuro de los cultivos ante la continuidad de las políticas existentes.

C. *Formulación y validación*

En esta etapa se hará necesario establecer un conjunto de variables clave, y relaciones entre las variables mediante varios diagramas de ciclos causales que permitan explicar los fenómenos asociados a los cultivos ilícitos en la nación. La validación de las relaciones se buscará analizar a la luz de estudios preliminares que aborden temas similares.

IV. MARCO TEÓRICO

Los arquetipos sistémicos son estructuras genéricas que describen patrones comunes de comportamiento en diferentes organizaciones. La ventaja de su utilización es que permiten considerar y analizar problemas fácilmente a la par que se entiende el funcionamiento y la estructura inherente al comportamiento observado [19]. A diferencia de herramientas de análisis cuantitativas los arquetipos permiten prever el comportamiento del sistema o los resultados de la implementación de ciertas políticas, pero con la desventaja que no permiten hacer valoraciones más tangibles sobre los resultados de las soluciones propuestas.

⁵ Cuando se habla de nivel regional se quiere referir a los países aledaños a Colombia y que son productores de coca o cocaína en este caso Perú y Bolivia.

⁶ Grupo Internacional de Crisis. (Internacional Crisis Group)

⁷ Tansnational institute (Instituto Transnacional)

⁸ United Nations Office on Drugs and Crime (Oficina de las Naciones Unidas contra Drogas y el Crimen)

Uno de los arquetipos que con más frecuencia se encuentra en cualquier tipo de problema de naturaleza compleja es el de soluciones que fallan. La idea detrás de este arquetipo es que los tomadores de decisiones piensan en los réditos de ciertas políticas al corto plazo, pero ignoran los impactos de estas políticas al largo plazo; por esto resulta que una acción original bien intencionada tiene dos efectos: Uno cortoplacista que satisface los intereses de los decisores y otra a largo plazo que contrarresta y en el peor de los casos empeora la situación inicial de la problemática [19].

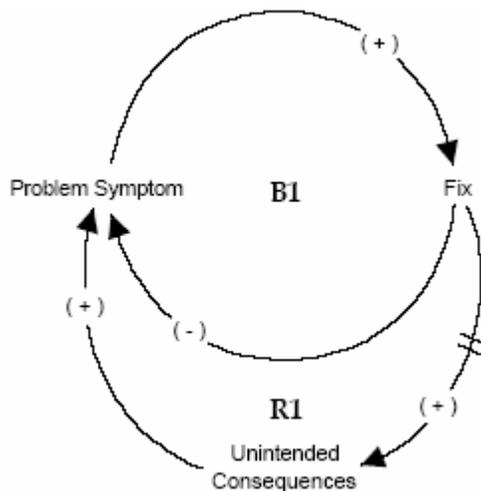


Fig. 1: Diagrama de ciclos causales asociado al arquetipo de soluciones que fallan. Fuente: Braun (2002)

Generalmente, cuando se analiza el comportamiento clásico de este arquetipo, se puede encontrar que si bien la intervención y las acciones implementadas para mejorar la situación logran reducir la magnitud del problema, en el largo plazo no impide que la situación del problema se siga deteriorando (ilustración 1 y 2) [19].

V. BREVE HISTORIA DE LAS POLÍTICAS ANTINARCÓTICOS EN COLOMBIA

Desde sus inicios, la estrategia colombiana de lucha contra las drogas ha estado enfocada a la consecución de la reducción de la oferta de alcaloides [1], por ello no se ha hecho hincapié en la reducción de la demanda⁹.

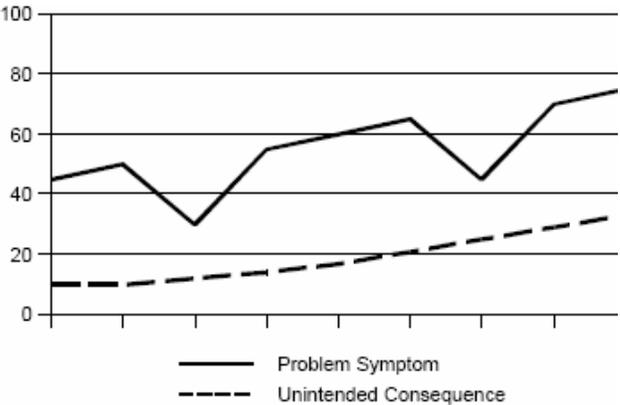


Fig. 2. Comportamiento asociado al arquetipo de soluciones que fallan. Fuente: Braun (2002)

Como parte del enfoque gubernamental hacia la reducción de la oferta de alcaloides se tienen entonces como estrategias características de la política antidrogas en Colombia a la interdicción, la erradicación forzosa de los cultivos y en menor parte el desarrollo alternativo.

Los mayores esfuerzos de interdicción que son desarrollados por Colombia se han hallado enfocados a la aspersion, aunque últimamente se ha dado una mayor preponderancia a la interdicción aérea siguiendo el ejemplo de la doctrina Fujimori. Aún así el desempeño de las acciones de interdicción aérea se ven limitados por los recursos con los que cuenta el gobierno para desarrollar las acciones de interdicción⁹.

La aspersion de cultivos ilícitos se remonta a la década de 1970, época en la que se fumigó con Paraquat las plantaciones de marihuana en la Sierra Nevada de Santa Marta. Aún así la magnitud de estas fumigaciones no era tan grande, ni la fumigación era tan extensiva como son las fumigaciones que se empezaron a realizar desde mediados de la década del 90. La aspersion de cultivos de coca y amapola se halla enmarcada bajo una política de erradicación de carácter policivo, haciendo uso extensivo del glifosato, y buscando acabar con la rentabilidad del cultivo.

Lo que se busca con las fumigaciones es generar un aumento en los costos de producción, reduciendo la rentabilidad y en el mejor de los

⁹ Colombia es un país con una flota aérea que en su mayoría data de los años de 1960 y 1970, generando una gran serie de dificultades operativas y de confiabilidad que en muchas ocasiones hacen que sean más rápidas las aeronaves de los narcotraficantes que las de las entidades estatales, dificultando en extremo la efectividad de estas.

casos producir pérdidas (se estima que los costos de producción con las aspersiones aumentan en un 50%), encareciendo el costo de la mano de obra, de mantenimiento de los cultivos, afectando la rentabilidad del negocio (ilustración 3) [10].

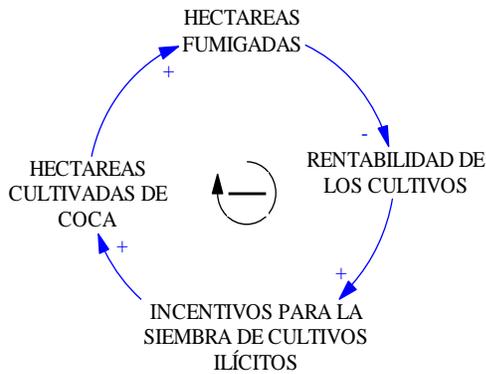


Fig. 3: Acciones del gobierno para contrarrestar la presencia de cultivos ilícitos

La migración de los cultivos podría ser un claro ejemplo de un efecto perverso de las políticas mal diseñadas. De hecho, al ser asperjado un cultivo de coca o amapola, los campesinos reaccionan desplazándose a zonas más alejadas [1], donde es menos probable una intervención estatal en contra de los sembradíos (ilustración 4).



Fig. 4: Establecimiento y migración de cultivos

La política de erradicación puede mostrar efectos “buenos” al corto plazo, pero en realidad, está siendo ineficiente, como consecuencia de ignorar la naturaleza nacional y regional¹⁰ del problema.

Adicionalmente, una de las grandes falencias que ha adolecido la política de erradicación es que estas no tienen mayor impacto sobre el negocio del narcotráfico [4], ya que no afecta las utilidades de

los intermediarios, (quienes en última instancia son quienes sacan mayor lucro del negocio).

Paradójicamente, con la intensificación de las aspersiones se ha generado una mayor “adaptación” de los cultivos, desarrollando cierta inmunidad hacia los herbicidas asperjados como consecuencia de acciones realizadas por los campesinos al desarrollarse fumigaciones¹¹.

A nivel regional, el problema emerge como producto de la rotación de los cultivos entre Colombia, Bolivia y Perú, teniendo que cuando el área cultivada se reduce en un país esto genera un aumento en el área cultivada en los otros países como parte de un proceso de recomposición regional de los cultivos.

Otra de las acciones realizadas por el gobierno es implementar políticas de desarrollo alternativo, estas últimas se remontan en Colombia al año de 1986, año en el cual la UNDCP¹² desarrolla pequeños proyectos en el Cauca y posteriormente en el Putumayo, Caquetá, Guaviare y Nariño, para desarrollar sustituciones de plantíos de coca y amapola [11]. Desde el año de 1990 en el país se ha venido desarrollando una experiencia de erradicación manual, avalada por las Naciones Unidas, aunque no ha sido fructífera del todo [4], debido a problemas de ejecución, falta de recursos y falta de coordinación entre otros.

1) *El origen de los cultivos ilícitos en Colombia (1970-1994)*

La aparición de los cultivos ilícitos en el país se da en los años sesenta, inicialmente con la marihuana [10] y en la década de los setenta con la coca. Posteriormente en la década del 80 hacen su aparición en Colombia los cultivos de Amapola.

En la década del 60 los cultivos de marihuana existentes en el país constituían pequeñas extensiones de tierra, ya que ellos tenían como finalidad la suplencia de la demanda interna por

¹⁰ Entendida como a nivel latinoamericano.

¹¹ Generalmente al fumigar, los campesinos “soquean” las matas, es decir las cortan en la mitad de su tallo, con lo cual estas, crecen de nuevo, desarrollando cada vez una mayor resistencia al glifosato.

¹² Oficina de las naciones Unidas para la fiscalización de las drogas y la prevención del delito

este alucinógeno. A comienzos de los setenta se da la bonanza de la marihuana, con la siembra de grandes áreas en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la Serranía del Perijá [10].

El aumento de la magnitud del área sembrada de marihuana en Colombia fue consecuencia de las exitosas políticas de erradicación desarrolladas por México hacia el año de 1975. Ante el aumento en la extensión de los cultivos de marihuana, el gobierno colombiano optó por la erradicación forzosa de los cultivos siguiendo el ejemplo de la experiencia mexicana. A pesar de los esfuerzos gubernamentales con las políticas de interdicción de marihuana prensada, o por las acciones de erradicación implementadas, el área cultivada no se redujo. De hecho, su reducción fue producto de la siembra de la marihuana en los Estados Unidos, lo que implicó una reducción del mercado de la marihuana en el país desde el año de 1989 [24].

La reducción de la rentabilidad de uno de los mercados derivó en una transición del tipo de cultivos ilícitos sembrados, implementando el cultivo de la coca. Como consecuencia de las estrategias de interdicción y erradicación desarrolladas en el Perú y en Bolivia en la primera mitad de la década de los 90, el país vio crecer alarmantemente el número de hectáreas cultivadas con coca, pasando de tener 35 municipios en los cuales se sembraba coca a un total que superó los 202 [5].

La existencia de cultivos con carácter ilícito en Colombia no se remonta a la última década. De hecho el problema lleva una historia de más de 30 años, pasando por diversos cultivos, y pese a las políticas implementadas, se siguen sembrando ilícitos en el país. La crisis en el sector agrícola colombiano (a principios de los 90) catalizó el crecimiento de los cultivos ilícitos debido a que la crisis no permitió que las zonas alejadas de los centros urbanos pudieran desenvolverse en los mercados legales de manera competitiva, viéndose abocados a recurrir a los cultivos ilegales, para subsistir y buscar salir de la quiebra en que se hallaban [11].

2) Políticas 1994-1998

La llegada de Ernesto Samper a la presidencia de la república de Colombia parecía representar un cambio en las políticas tradicionalmente implementadas; ya que el entonces candidato presidencial durante su campaña por la presidencial planteó el diseño de una estrategia orientada a una reducción de la demanda de narcóticos. Aún así, la política de control de la demanda nunca se llegó a implementar por completo, como consecuencia de la coyuntura política existente en su momento alrededor del proceso 8.000 [1]. Por esta razón se optó por una política represiva, en la cual se desembolsaron alrededor de 19 millones de dólares para fumigar cultivos, añadiendo a esto 22 millones en gastos operativos. Aún así a finales de este periodo de tiempo la variación porcentual en el área cultivada de amapola llegó a un 127%.

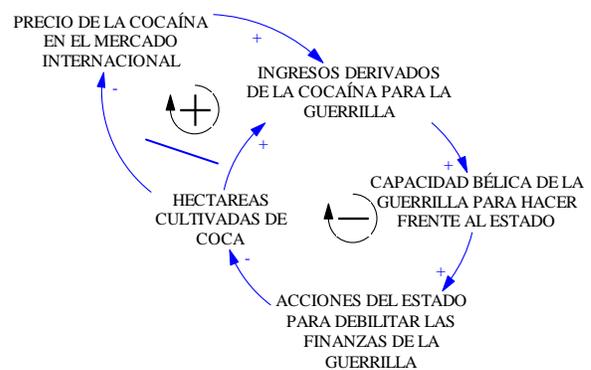


Fig.5: Políticas antinarcóticos-insurgentes

3) Políticas 1998-2002

Al igual que la política planteada durante el gobierno Samper, se tienen como elementos comunes la búsqueda de un fortalecimiento de la justicia, el desarrollo alternativo (que ahora busca reducir la población afectada por los cultivos ilícitos, otorgando alternativas de subsistencia lícitas), la rehabilitación de los consumidores y la reducción de la oferta, contemplando la posibilidad de apoyo internacional, y la búsqueda de una conservación ecológica a través de políticas de desarrollo sostenible.

La política del Estado colombiano durante este cuatrienio frente a los cultivos ilícitos es de

carácter diferencial, de acuerdo a su naturaleza y el propósito de los mismos; es decir su tipología y su categoría. Para los cultivos extensivos o industriales está prevista la erradicación forzosa a través de aspersiones aéreas o la erradicación manual, y para los cultivos familiares o de economías marginales y campesinas están contempladas las políticas de desarrollo alternativo previas a la erradicación de los cultivos.

Durante este periodo, y como consecuencia del aumento en el número de hectáreas asperjadas en el país, se presentaron fenómenos inquietantes de adaptación de los cultivos de coca a las aspersiones con glifosato, que implicaban una mayor resistencia de la planta a las fumigaciones aéreas. Este fenómeno se daba de manera paralela a un cambio de discurso frente a los cultivos y la insurgencia, ya que se reconocía por parte de los organismos del estado que los cultivos de coca y amapola se estaban convirtiendo en una fuente de financiación para los grupos insurgentes, y por ende cualquier política de paz, habría que abordar el tópico de los cultivos ilícitos.

VI. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CULTIVOS ILÍCITOS

La política implementada por el actual gobierno presentó un quiebre en el manejo que se estaba dando a los cultivos con carácter ilícito en Colombia. Se pasó de un esquema que diferenciaba los tipos de cultivos y de acuerdo al tipo de cultivo se definían las políticas (definía políticas represivas o de desarrollo alternativo); a tener una política en la cual la erradicación de los cultivos (bien sea forzosa o concertada) será la premisa de las políticas de lucha contra el narcotráfico. El gobierno actual ha potenciado la aspersión aérea como herramienta en la lucha contra los narcóticos, aumentando el tamaño de la flotilla aérea que se encarga de las fumigaciones de los cultivos ilícitos e incrementando la cantidad de hectáreas asperjadas, buscando de esta manera que la dinámica de la tasa de

Producto de este cambio en la percepción de las relaciones de los cultivos ilícitos y la guerra el gobierno implemento un plan "integral" llamado Plan Colombia, dentro del cual se involucró y se

A pesar de este enfoque, se encuentra que durante el gobierno de Andrés Pastrana el área cultivada en Colombia llegó a su pico, teniendo un valor máximo de 163.300 hectáreas cultivadas con hoja de coca entre los años 2000-2001, para posteriormente empezar a decaer (ilustración 6).

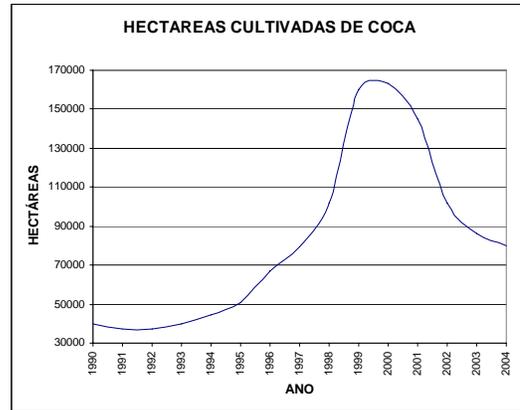


Fig. 6: Hectáreas cultivadas de coca en el país entre 1990y 2004
Fuente UNODC Word Drugs report 2005

erradicación supere a la tasa de siembra¹³. Este plan gubernamental articula alrededor de una estrategia prohibicionista, con la idea que con su ejecución se legitima y fortalece al estado a la par que se debilita a los actores que hacen parte del negocio [20].

La política de lucha contra los cultivos ilícitos es parte de la lucha contra los grupos insurgentes, donde la reducción del área cultivada con hoja de coca o con amapola, implica según el gobierno un debilitamiento de la insurgencia; para esto, el gobierno mediante el "Plan Colombia" ha realizado una inversión de cerca de 3 billones de dólares con la intención de reducir la producción de cocaína y debilitar a las guerrillas [14]. Según

¹³ Esta política antinarcóticos se halla inscrita en la política de seguridad democrática que tiene como uno de sus objetivos recuperar el imperio de la ley en todo el territorio nacional y recuperar zonas que se hallan actualmente controladas por la guerrilla.

el gobierno, los resultados han sido halagüeños, proclamándose victorioso en los últimos 3 años consecutivos frente a los cultivos ilícitos y la “guerra contra las drogas”. Esto se debe a las reducciones logradas en el área cultivada con coca en el país (ilustración 7). Este tipo de resultados ha conducido a que dentro del gobierno existan afirmaciones en las cuales se asegura que el estado tiene en jaque a los narcotraficantes [3]. Según el gobierno, los resultados son producto de tres elementos que han potenciado la reducción de los cultivos ilícitos [23]:

1. Actividades de aspersión aérea
2. Ejecución de proyectos de desarrollo alternativo
3. Aplicación del Programa de familias guardabosques.

Global coca bush cultivation 1990-2004 (ha)

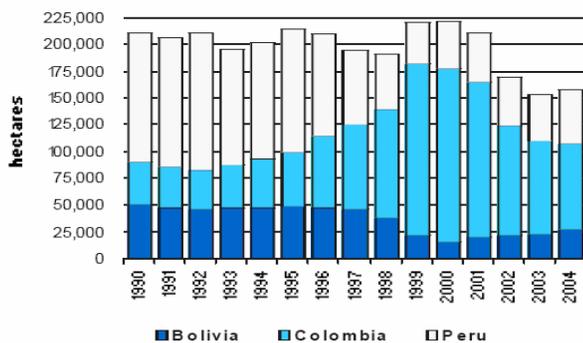


Fig. 7: Cultivo de cocaína en Colombia, Perú y Bolivia. Fuente: UNODC World Drugs Report 2005

Aún así los resultados son contradictorios, ya que mientras la producción y el cultivo de coca en Colombia se redujo, el área cultivada parece aumentar en otros países como Bolivia y Perú como consecuencia de la reducción de la oferta mundial de alucinógenos, razón por la cual a pesar de una acción marginalmente efectiva a nivel nacional termina siendo ineficiente a nivel regional, ya que los cultivos sufrirán una redistribución (ilustración 8)

Según el censo sobre cultivos ilícitos en el país en el 2004, la DIRAN- Policía Antinarcoóticos,

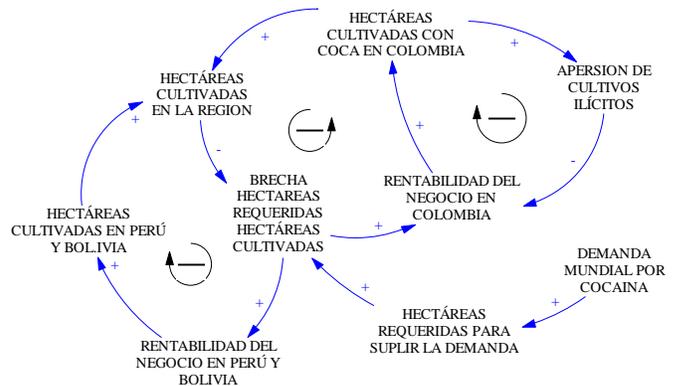


Fig. 8: Diagrama de ciclos asociado al esquema de recomposición regional de los cultivos

asperjó un total de 136.551 hectáreas de coca logrando sólo una reducción del 7%, a pesar que el área fumigada fue superior al área cultivada existente, por lo anterior se podría pensar en que los retornos de las fumigaciones han venido decayendo [16] como producto de la adaptación de la planta a las aspersiones y un aumento en la productividad de los cultivos que aupado a otros efectos colaterales pueden llevar al traste la política de lucha contra las drogas en Colombia. [13]. Otro elemento preocupante es que el 60% de los cultivos existentes de coca son nuevos¹⁴[23], incluyendo casos dramáticos como los del departamento de Nariño, en donde se fumigó el doble de las hectáreas existentes, y las siembras aumentaron en un 17% [13].

Por estos motivos, se encuentra que estos resultados son inquietantes ya que la manera en que el gobierno ha articulado su política antinarcoóticos alrededor de un esquema en su mayoría represivo¹⁵, que puede generar muchos otros problemas aún más grandes que los que intenta solucionar, incluyendo los ya conocidos efectos de dispersión de los cultivos y aumento de la rentabilidad de los cultivos, a los que se pueden adicionar la tecnificación de los sembradíos, el inconformismo social y el impacto de este tipo de

¹⁴ Fundación Seguridad y democracia (Junio 2005). COLOMBIA: Censo de cultivos de coca.

¹⁵ Esta afirmación se suerte al comparar los montos invertidos en aspersiones con glifosato versus los programas de desarrollo alternativo. De hecho en el plan Colombia la proporción de gasto militar y gasto social era de un 85% y un 15 % respectivamente.

políticas sobre la dinámica del conflicto armado (ilustración 9).

La idea del gobierno, es que producto de las fumigaciones extensivas se reduzca el área cultivada en el país. Esta disminución conducirá a un a menor capacidad de producción de cocaína a nivel nacional, que generará una brecha entre la oferta y la demanda de drogas. Esta diferencia, entonces se traducirá en un aumento de los precios del kilogramo de cocaína hacia los consumidores, generando una reducción del consumo debido a la incapacidad por parte de algunos de ellos por comprar el narcótico. Ahora, lo que se encuentra en el mercado internacional es que estas políticas no han cumplido su cometido, ya que el precio de la cocaína en los países consumidores, no aumenta, sino que en el peor de los casos disminuye [15].

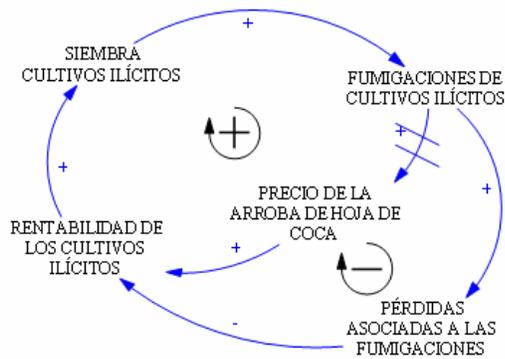


Fig. 9: Diagrama de ciclos causales asociado a la fumigación de cultivos y sus efectos colaterales

Entre los múltiples aspectos que se tiene que considerar cuando se habla de efectos colaterales, se encuentra la manera en que los cultivadores dispersen los cultivos con el objeto de dificultar su hallazgo, mezclándolos con otro tipo de cultivos, eso puede derivar en que tanto la identificación como la acción de las autoridades se halle encaminada mas a un dato subestimado del área cultivada [15] (**véase sección V**).

A esto es necesario añadirle un aumento en la demanda mundial de alcaloide, en la cual la población consumidora de cocaína paso de 13 millones en el 2003 a 13.7 millones en el 2004, razón por la cual existirá una presión sobre el

mercado para compensar este aumento en la demanda mediante un incremento en la capacidad instalada de los productores de cocaína y los sembradíos de coca. Por esta razón, se puede esperar haya un aumento en el área cultivada aún a pesar de los esfuerzos del gobierno por reducir los cultivos existentes.

Aún así, el crecimiento del área cultivada no será la única respuesta que podrán tener los traficantes para aumentar su capacidad instalada, ya que la tecnificación del proceso de cultivo y procesamiento de alcaloides ha mejorado como consecuencia de las restricciones impuestas por el gobierno a la oferta de hoja de coca en el país. La producción y el tráfico de drogas es una industria como cualquier otra que busca su mejora y desarrollo, en la cual la represión del estado ha jugado un papel clave en incentivar su competitividad mediante la importación de semillas de otros países o la mejoría de la resistencia de la planta de coca a las aspersiones con glifosato, haciendo que la efectividad de las fumigaciones sea mucho menor. Otro de los elementos que se puede considerar dentro de las mejoras implementadas es el proceso de producción de la cocaína, en el cual la cantidad de alcaloide que se logra extraer por arroba de coca ha aumentado (ilustración 10). Esto puede explicar por que la industria del narcotráfico siga siendo tan rentable pese a los ingentes esfuerzos del gobierno por debilitar el narcotráfico [6], en palabras de un miembro de la policía antinarcoóticos del país:

"Si en el pasado tres kilos de base de coca representaban un kilo de alcaloide de exportación, hoy gracias a químicos de mejor calidad, de un kilo de base se saca un kilo de alta calidad". [3]

Por ello es que las autoridades no pueden lograr explicar satisfactoriamente de dónde sale tanta coca, si, como las ellas afirman, disminuyeron el área cultivada, la guerrilla está diezmada, los paramilitares se están desmovilizando y los grandes capos están en estampida [9].

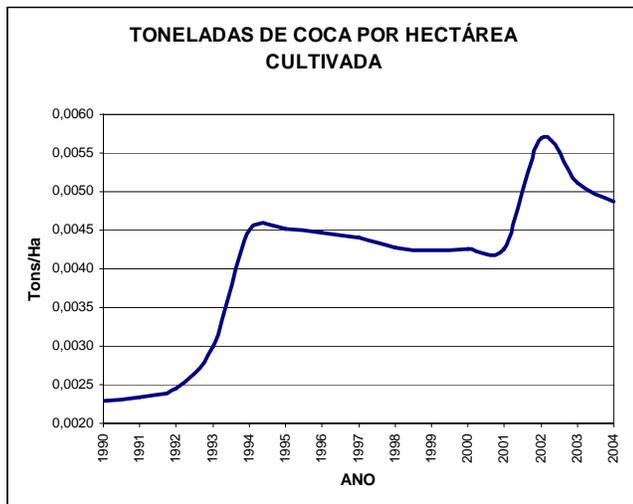


Fig. 10: Comportamiento histórico de la productividad de los sembradíos

Para entender el porqué de esta respuesta de los traficantes y su gran habilidad para poder sobreponerse a las restricciones, fumigaciones incautaciones y la represión sobre la cadena productiva, se encuentran datos inquietantes como que los ingresos derivados de el trafico de alcaloides representa entre el 2% y el 5% del producto interno bruto mundial [20], con lo cual se encuentra que los montos de dinero asociados a este tipo de negocios son bastante grandes, tanto que su comercio alcanza cerca de los US \$ 321.000 millones, una cifra más alta que el PIB del 90% de los países.

Ahora si se contrasta este tipo de cifras económicas con los ingresos de los campesinos colombianos, se encuentra un panorama desolador, debido a que dentro de este tipo de esquemas es sumamente difícil impedir que en regiones del campo en las que existan crisis económicas, la gente asuma una decisión económica en la cual opten por adoptar un cultivo (que es mucho mas rentable que los cultivos lícitos y que se cosecha con una periodicidad de

cuatro veces al año). El problema derivado de la presencia de los cultivos ilícitos en ciertas zonas del país, es que estos terminan generando economías ficticias hiperinflacionarias que se hacen altamente dependientes [6] y debilitan la posibilidad y la factibilidad de otras economías, dentro de lo que se podría ver como un ejemplo del arquetipo éxito para quien tiene éxito (ilustración 11) [2].

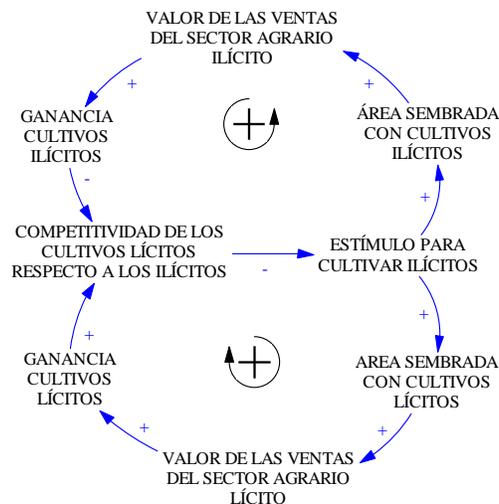


Fig. 11: Efecto de los cultivos ilícitos sobre las economías lícitas

Lo que el gobierno pareciera desconocer o ignorar en algunas ocasiones, es que la presencia de cultivos ilícitos permite a los campesinos de zonas alejadas satisfacer las necesidades [17] de campesinos sumergidos en la pobreza (el índice de pobreza en el campo supera el 40%), y por ello la fumigación aérea y la promesa del desarrollo alternativo no sirven para convencer a los campesinos de la inutilidad del cultivo de coca. En el marco de pobreza extrema, desnutrición y desamparo en el que subsisten millones de colombianos, no se puede esperar que estos no quieran aprovechar la rentabilidad del cultivo de coca [21].

Un aspecto que no ha sido analizado con mayor cuidado al momento de planificar políticas es el inconformismo social y este impacto sobre la dinámica del conflicto armado. Los cultivos ilícitos en el país tienen una población flotante asociada de casi 600.000 personas que viven del negocio de la coca, que se han trasladado a la par que lo hacen los cultivos ilícitos¹⁶. Estas personas tienen al cultivo de coca (y en algunos casos su procesamiento a pasta básica de cocaína) como una herramienta de subsistencia en territorios donde otro tipo de cultivos no son rentables o no pueden sembrarse con éxito.

Ahora debido a que la pobreza en el campo y la desigualdad social es un problema que se articula con otros grandes problemas de la nación como puede ser la existencia de grupos al margen de la ley (guerrillas). Por lo anterior, y teniendo en cuenta que en los municipios donde hay cultivos de coca hay alrededor de 100 personas enlistadas en grupos insurgentes¹⁷ (frente a 40 guerrilleros en municipios donde no hay coca y existen grupos insurgentes), la destrucción de los cultivos (que son un mecanismo de subsistencia para esta población flotante) se puede convertir en un catalizador que conduzca a aumentar el pie de fuerza de los grupos insurrectos, ya que en municipios donde el único negocio que puede subsistir bajo economías ficticias son los cultivos ilícitos, el ingreso a alguno de los grupos armados que garantizan un ingreso mensual se pueden convertir en una alternativa de subsistencia, por lo cual una intención original del estado por defender la soberanía y acentuar su presencia genera un inconformismo, resentimiento y posterior debilitamiento del estado como ente legítimo a los ojos de los campesinos (ilustración 12).

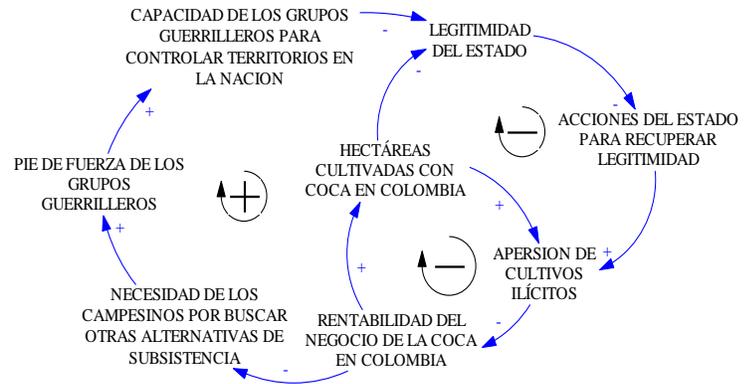


Fig. 12: Efectos perversos asociados al orden público

Por ello, al fusionar la lucha contra las drogas con la lucha contra los grupos insurgentes en un país como Colombia se puede tener que el fracaso de la primera lucha, puede, en el peor de los escenarios, convertirse en el fracaso de la segunda y por ende afectar la existencia del estado colombiano [23].

Por esto, luego de más de 14 años de fumigaciones en el país, como menciona el T.N.I. [22] "...sólo puede hablar de resultados reducción relativa del número de hectáreas cultivadas (que no es sostenible a largo plazo), cientos de miles de desplazados internos, unos pocos planes de sustitución de cultivos y una pesada movilización militar selva adentro con la que el gobierno espera eliminar de un solo golpe una insurgencia de cuarenta años de antigüedad y toda la producción de narcóticos del país...".

Si se desea implementar una verdadera solución al problema de cultivos ilícitos en Colombia es necesario eliminar las condiciones estructurales que arrojan a los campesinos a tomar la decisión de sembrar ilícitos, de hecho, si se quiere poner en términos de lucha contra-insurgente, para acabar con la guerrilla no es práctico sacar el agua¹⁸ para hallar a los peces, es mejor sacar a los peces del agua; pero si se quiere sacar a los peces es necesario implementar un equitativo desarrollo económico, en el que los campesinos

¹⁶ Internacional Crisis Group. (Enero 2005) Guerra y droga en Colombia.

¹⁷ Fundación Seguridad y democracia (Junio 2005). COLOMBIA: Censo de cultivos de coca.

¹⁸ Se hace referencia a la analogía usada por Mao Setung, en la que el guerrillero ha de ser un pez en el agua, obteniendo movilidad y agilidad.

vean mejorar sus condiciones de vida, se de una redistribución de la riqueza (que elimine la figura del narcotraficante y el cultivador de coca como una herramienta de ascenso social) y la tierra a la par que se potencia el funcionamiento de los sistemas de educación. [18]. Adicionalmente cualquiera que sea la política que opte por implementar, es necesario que su efectividad sea analizada en dinámicas de mediano y largo plazo, esta es la mejor manera de que la política antinarcoóticos en el país no sea una solución que falle sino una solución que perdure.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los alcances de las políticas antinarcoóticos en el país están valoradas dentro de un enfoque corto-placista determinado por los intereses por demostrar resultados a corto plazo que favorezcan procesos electorales y políticos. Como consecuencia de esto, se encuentra que se ignoran o desconocen los posibles efectos a largo plazo que pueden llevar al traste los resultados alcanzados inicialmente.

La represión y la aspersion extensiva puede ser una política que sea útil y benéfica a corto plazo, pero su eficacia se halla atada a una verdadera articulación de estas políticas, con una política de desarrollo alternativo suficientemente fuerte y bien planificada que permita acabar con los incentivos que empujan a los campesinos a ingresar al mercado de la coca.

La política y la estrategia antinarcoóticos ha de separarse de los problemas asociados a la presencia de grupos guerrilleros en el país, ya que al mezclar estas dos problemáticas se simplificarán y se considerarán obvias las razones por las cuales los campesinos optan por ser guerrilleros o cultivadores de coca. Si bien se reconoce que estas problemáticas tienen varios puntos de intersección, sus orígenes en algunos casos difieren y por lo tanto necesitan de soluciones diferentes.

En este artículo se discutieron elementos que permitían analizar la política antinarcoóticos del país como una solución que falla, esto no quiere decir que no se pueden presentar muchas otras interacciones y comportamientos que puedan ser analizados a la luz de algunos arquetipos como puede ser el arquetipo de desplazamiento de la carga [2] y de otras herramientas de análisis como podría ser la simulación continua de esta problemática [6] [7].

REFERENCIAS

- [1] A. M. Almonacid, *Breve historia crítica sobre las estrategias internacionales y locales contra los cultivos ilícitos. Ilustración: Municipio de Algeciras Huila*. Bogotá 2000
- [2] W. Braun "The system Archetypes". 2002.
- [3] Coca como arroz. Revista Cambio. Septiembre 25 de 2005
- [4] G. De Francisco, *Dinámica de los cultivos ilícitos en Colombia*. En Cultivos ilícitos en Colombia: Memorias del foro realizado el 17 y 18 de agosto de 2000. Castañeda Dorly, Castro Mónica, Medina Andrés. Corcas Editores. Bogotá. 2001.
- [5] Defensoria del Pueblo, Procuraduría general de la nación, *Los cultivos ilícitos: Política mundial y realidad en Colombia*, Santa fé de Bogotá 2000.
- [6] F. Diaz, Construcción de un modelo de simulación para analizar el comportamiento de los cultivos ilícitos en Colombia haciendo uso de la dinámica de sistemas Tesis ingeniero industrial. Universidad de los Andes, 2003
- [7] G. Díaz "Aproximación a la dinámica de los cultivos de Coca" Tesis ingeniero industrial. Universidad de los Andes. 2002
- [8] Dirección nacional de Estupefacientes (DNE). Estudio Nacional de Consumo, 1996, descargado de www.dne.gov.co
- [9] El talón de Aquiles. Revista Semana. 17 de Septiembre de 2005.
- [10] M. Galindo Hernández, *Problemática social causada por los cultivos ilícitos en Colombia. Martínez Vivas Juan Enrique*. En Cultivos ilícitos en Colombia: Memorias del foro realizado el 17 y 18 de agosto de 2000. Castañeda Dorly, Castro Mónica, Medina Andrés. Corcas Editores. Bogotá. 2001.
- [11] G. García Miranda, *Estrategia de desarrollo alternativo en Colombia*.
- [12] Internacional Crisis Group. (Enero 2005) Guerra y droga en Colombia.
- [13] Fundación Seguridad y Democracia (Junio de 2005). COLOMBIA: Censo de Cultivos de Coca. NACIONES UNIDAS *Oficina contra la droga y el delito (UNDCP)*

- [14] P. Kenyon, The cocaine jungle. British Broadcasting Channel (BBC). Descargado de www.bbcnews.com. Recuperado en Octubre 14 de 2005
- [15] P. Kenyon, The war on Colombia's cocaine industry. British Broadcasting Channel (BBC). Descargado de www.bbcnews.com. Recuperado en Octubre 14 de 2005
- [16] New twists in the war on coca. *The Economist*. Edición impresa. Septiembre primero de 2005
- [17] E. Morales, The political Economy of cocaine Production: An análisis of the peruvian case. Latin American Perspectives, vol 17, No 4, Guatemala, Debt, and Drugs (Autumn 1990)
- [18] K. Sharpe, The Drug war: Going alter Suply: A commentary. Journal of interamerican Studies and world affairs, Vol 30. No. 2/3, Special issue: Assessing the Americas War on Drugs (Summer – Autumn, 1988)
- [19] J. Sterman, Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a complex World. McGraw-Hill. 2000.
- [20] J. G. Tokatlian, Prohibicionismo Antíguo. El tiempo. Octubre 28 de 2005.
- [21] Transnational Institute (Enero 2005). Informe sobre políticas de drogas. De los inconvenientes de confundir la políticas contra drogas con la política de seguridad.
- [22] Transnational Institute (Abril 2005). Drug Policy briefing. The United Nations and harm Reduction – Revisited.
- [23] United Nations office on Drug and Crime (2005), World Drug Report.
- [24] R. Vargas Mesa, Políticas antidroga, Estado y democracia en Colombia. En Medio Ambiente, cultivos ilícitos y desarrollo alternativo: Memorias del seminario taller realizado el 21, 22 y 23 de septiembre de 2000. Bogotá

Propuesta de uso de la Dinámica de Sistemas y los Sistemas Expertos como Herramientas de Prevención Primaria: Estratificación de Riesgo Cardiovascular

Pineda, Eliécer., Gutierrez, Melquisedec Cavanzo, Rosa María., Monsalve, Ana Eddy. Carreño, Marisol.
epinedaba@gmail.com, grupo_quiron@hotmail.com, {romacacu08, aned23}@yahoo.com.mx.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Fundación Cardiovascular de Colombia

Resumen— La enfermedad cardiovascular es la principal causa de muerte no violenta según la Organización Mundial de la Salud [12,3]; la prevención primaria, se está convirtiendo, en consecuencia, en el objetivo principal de los programas de promoción y prevención a escala mundial. Por esto las instituciones de la salud deben diseñar estrategias aplicables en el primer nivel de atención, de tal forma que se logre sensibilizar a la población sobre los riesgos que conlleva el descuido en la atención de la salud. Esta comunicación presenta una propuesta orientada hacia el mejoramiento del desempeño médico, en el desarrollo de la consulta de prevención, de tal forma que se logre resultados visibles en la población objeto del programa a partir del uso de un ambiente informático soportado en la integración entre un sistema experto para diagnóstico de pacientes y un modelo en dinámica de sistemas de la fisiología cardiovascular. La base de conocimientos se diseñará a partir de la información suministrada por el experto cirujano; con este conocimiento el sistema experto generará los valores iniciales de las variables del modelo, permitiendo recrear, para un determinado paciente, la evolución de la situación cardiovascular y/o las ventajas de cambiar sus hábitos (los que le conducen a una situación de riesgo) y el seguir adecuadamente una recomendación médica, al ser estas simuladas en el ambiente informático.

Índice de Términos - Enfermedad coronaria, Factores de riesgo, Sistema experto, Prevención primaria y secundaria, modelo en dinámica de sistemas.

I. INTRODUCCIÓN

La enfermedad coronaria es la mayor causa de muerte y secuelas en los países con estilos de vida occidental. En los Estados Unidos ocasiona

aproximadamente 500.000 anuales. Cada año se producen 1.150 millones de infartos: 650.000 son el primer evento de enfermedad coronaria. El 50% de los hombres y 63% de las mujeres que presentan muerte súbita por enfermedad coronaria eran totalmente asintomáticos previo al evento mortal [4,5]. Las guías para la prevención de enfermedad coronaria empleadas a nivel mundial, adoptan algunos factores de riesgo, como marcadores de la aparición de eventos coronarios a 10 años, identificando así los candidatos para iniciar la modificación de estilos de vida.

Con la aplicación del concepto “factor de riesgo”, (Hábito, costumbre, condición o alteración genética que incrementa la posibilidad de que una persona desarrolle una enfermedad), desde la aparición del estudio Framingham hace más de 50 años, se han consolidado las recomendaciones para programas de prevención y promoción [6]. El cálculo del riesgo, es el primer paso en prevención primaria, porque la intensidad de los esfuerzos debe ser a la medida del estado de riesgo del paciente.

El Diseño de un programa ideal, que permita conocer el riesgo clínico global, definido como la probabilidad de una persona de desarrollar enfermedad coronaria (infarto miocardio o muerte súbita origen cardiaco) en los próximos 10 años; debería estar basado en un modelo multifactorial, el cual permita tener en cuenta las variables

Tomando lo mejor de los avances tecnológicos en imágenes diagnósticas del sistema cardiovascular (tomografía helicoidal, ecografía carotídea, índice tomográfico de calcio coronario) marcadores séricos, que permiten a través de la cuantificación de proteínas inflamatorias en sangre, evaluar los procesos de daño del endotelial, (proteína C reactiva, Interleucinas); la tecnología computacional (los sistemas expertos y la simulación numérica) y en términos conceptuales la explicitación de los modelos mentales (que subyacen a la fisiología cardiovascular y del proceso aterosclerótico); se facilitará la valoración no invasiva de la enfermedad coronaria y vascular periférica, así como la posibilidad de evaluar la respuesta a diferentes alternativas terapéuticas. Todo lo anterior estará guiado por el paradigma de pensamiento sistémico [6,7].

Una de las metodologías para el modelado que se aparece como pertinente para los propósitos de esta propuesta es la dinámica de sistemas, en tanto puede ser usada para recrear el sistema cardiovascular; en medicina los estudios tradicionales se enfocan mayormente en el análisis por separado de los diferentes factores, siguiendo un modelado funcional, antes que estructural.

Una de las hipótesis que orienta esta propuesta de investigación es que la aplicación del pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas aunadas a las técnicas de ingeniería de conocimiento como los sistemas expertos, en el estudio de los complejos sistemas de salud puede generar una aproximación práctica al fenómeno cardiovascular que apoye procesos educativos, asistenciales y experimentales, en la comunidad médica. Se espera que este ambiente informático propuesto aquí genere respuestas a los desafíos que presenta la prevención primaria, en los países en vías de desarrollo, como el nuestro. [8,9]

Dentro de la propuesta se plantea como objetivo general la construcción de un prototipo de ambiente informático, soportado en modelos de dinámica de sistemas, que simulen las respuestas fisiológicas de un paciente hipotético y un sistema experto que aportará el estado actual de dicho paciente; punto de partida de la simulación en el modelo.

Otros objetivos que complementarán el principal es la realización de un modelo del corazón y del ciclo cardiaco; el diseño de un sistema experto que realice la estratificación de riesgo de la enfermedad coronaria y el desarrollo de una interfase, que permita la conexión del modelo y el sistema experto, de tal forma que recree las respuestas fisiopatológicas propias de la enfermedad aterosclerótica coronaria. [10]

II. JUSTIFICACIÓN

La prevención de la enfermedad cardiovascular, lleva implícita un argumento de tipo económico: agregar años de vida productivos y evitar o posponer problemas de salud y un argumento humanístico consistente en evitar el sufrimiento humano. En los EEUU el costo económico excede los 118 billones de dólares al año, incluyendo tanto los gastos directos (hospitalizaciones, gastos médicos, medicamentos, procedimientos, etc.) como los indirectos generados por la pérdida de productividad causada por la morbilidad y la mortalidad[11].

La modificación de los factores de riesgo cardiovascular en estudios como el Nacional Cholesterol Education Program (NCEP) y el Adult Treatment Panel ATP III, han demostrado la eficacia de controlar la tensión arterial, la glucemia y la dislipidemia, en reducir la mortalidad y morbilidad de la enfermedad cardiovascular. A pesar de la incontrovertible evidencia de la eficacia del manejo de los factores de riesgo su aplicación mundial es pobre. Una razón para esa deficiencia es la difícil aplicación de programas preventivos [12,13]

Los sistemas de salud en Colombia, han venido implementando desde el 2001, las normas básicas para la realización de programas de prevención y promoción basadas en la norma 412; pero el impacto de los objetivos de estos programas sigue siendo una especulación por parte de las entidades encargadas de realizarlos. Los procesos administrativos a los que se han reducido los programas, han obstaculizado el acceso de los pacientes a estos, y disminuyen el interés de la población general por los temas relacionados con la

prevención de la enfermedad y el cuidado de la buena salud.

Simular los efectos de la enfermedad aterosclerótica, en el sistema cardiovascular, y además evaluar el impacto de las intervenciones de la prevención primaria, pretende ampliar el campo de acción de estos modelos de simulación al área clínica de las ciencias médicas, apoyados en los sistemas expertos, permitiendo no solo mejorar curvas de aprendizaje sino generar una herramienta útil en la toma de decisiones para la prevención de la enfermedad cardiovascular, mejorando el impacto de los programas realizados en el primer nivel de atención en salud en países como el nuestro.

III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se hace una propuesta de fases a seguir las cuales incluyen metodologías como la de desarrollo de sistemas expertos por prototipos y la de construcción de modelos con dinámica de sistemas, propuesta por Javier Aracil. [14]

Inicialmente se llevará a cabo la conceptualización del fenómeno, es decir, se revisarán todos los mecanismos que subyacen a la prevención primaria de la enfermedad cardiovascular. Posteriormente y de manera simultánea se realizará tanto el sistema experto como el modelo. Terminados estos se construirá la interfaz usando como guía metodológica el desarrollo de software por prototipos finalizando con la fase de implementación de la aplicación.

Esta propuesta metodológica que se ilustra en la fig. No 1.

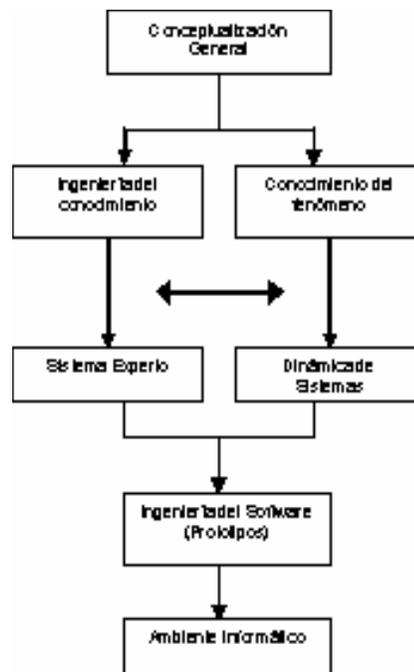


Fig. 1: Metodología de desarrollo
Fuente: Autores de la investigación

1) Fase de conceptualización general

La prevención hace de parte de un conjunto de estrategias que evitan, la aparición o evolución de un proceso patológico. Estas estrategias se aplican actualmente en todo el proceso fisiopatológico de la enfermedad. La prevención primaria, específicamente evita o retarda la aparición de un fenómeno patológico, por medio de mejoras en el estado inicial de un paciente, basados en una adecuado estudio de sus factores de riesgo; en términos médicos ocurre hasta antes de realizar el diagnóstico de la enfermedad. La prevención secundaria y terciaria se concentra en los mecanismos necesarios para evitar la progresión de la enfermedad ya instaurada en el caso de la secundaria y tratar las secuelas de la enfermedad, en la terciaria. [15]

El propósito final de estos programas es concientizar a la población sobre las ventajas de adquirir un estilo de vida saludable, y sus resultados a futuro con base en las decisiones tomadas en el presente; pero lograr un impacto perdurable mas allá de la consulta médica en la población objeto ha sido infructuoso, ya que el simple proceso de evaluar resultados de laboratorio aislados, llenar

formularios de riesgo, generar una clasificación de severidad de la enfermedad, y archivar los informes con la historia clínica, no comprometen al paciente, o a la institución de salud, de realizar los seguimientos y controles que garanticen este propósito; aumentado la dificultad para conseguir el éxito, las exigencias metodológicas de cada uno de los programas para el personal médico y paramédico.[16]

Los desarrollos de modelos de simulación del sistema cardiovascular pueden llegar a ser muy pertinentes como una respuesta a las dificultades en la implementación de los programas de prevención, sobre la hipótesis de que si los pacientes logran entender la dinámica de su enfermedad y son conscientes de su evolución atenderán mejor las indicaciones médicas, esto es, que tendrán un proceso metacognitivo en el sentido que aprenderán sobre su enfermedad. De otra parte en el ámbito internacional se conoce los trabajos del Dr. Pacher [17], quien desarrolló un modelo dinámico de fisiología cardiovascular usado con propósitos didácticos. [18,19]

2) Ingeniería del Conocimiento

Para el desarrollo de un sistema experto generalmente la mayor parte del conocimiento que se requiere no se encuentra compilado, por lo que se hace necesario obtenerlo de un especialista a través de entrevistas. Este proceso de consecución del conocimiento y su adaptación para que este pueda ser utilizado, en procesos de inferencia por la máquina, se le conoce como ingeniería del conocimiento.

El objetivo del sistema experto, como ya se ha dicho con anterioridad, es el de determinar el estado actual del paciente; para ello se han realizado jornadas con médicos, especializados en el diagnóstico de enfermedades del sistema cardiovascular, que han permitido diseñar una base de conocimientos, si bien en principio pequeña en tamaño, si suficiente para elaborar un primer prototipo.

Para el diseño de la base de conocimiento se ha usado como forma de representación de conocimientos las reglas de producción que luego se

programan en el lenguaje de programación Prolog. De esta manera se implementa el sistema experto que realizará inferencias a partir de dicho conocimiento, dando resultados cualitativos que posteriormente se cuantificaran y servirán de insumos al modelo.

Los siguientes son ejemplos de reglas que han sido obtenidas de los expertos. Del diálogo con ellos se ha llegado a estratificar el diagnóstico en cuatro tipos: Riesgo bajo, riesgo medio, riesgo alto y riesgo muy alto.

Las siguientes reglas son ejemplo de diagnóstico de riesgo bajo.

R1 SI Edad está entre 40 y 60 años =
SI ENTONCES EDAD =
EDAD 1

R2 SI EDAD 1 = SI
AND SI paciente hace ejercicio =
SI ENTONCES Riesgo = RIESGO
BAJO 1.

R3 SI EDAD 1 = SI
AND SI El imc es mayor de 25 =
SI ENTONCES Riesgo = RIESGO
BAJO 1.

A. Reglas de producción

Las reglas de producción son una forma de representación del conocimiento que parte de la comprobación de la verdad de las consecuencias para deducir como verdad la causa.

En el caso de las reglas de producción se puede hacer el proceso de inferencia conocido como “encadenamiento hacia adelante” que para el caso se ilustra como sigue. Si un paciente tiene entre 40 y 60 años de edad se encuentra en el rango de edad 1 y si también es verdad que el paciente hace ejercicio entonces el paciente se ubicará en riesgo bajo 1. obsérvese qué para que el diagnóstico sea “riesgo bajo 1” deben satisfacerse a plenitud las reglas R1 y R2. Debe notarse también que si se cumple la regla R1 y R3 también tendrá “riesgo bajo 1” pero difieren en el tratamiento que se debería seguir.

3) Sistema Experto

El sistema experto es un sistema informático que simula el proceso de aprendizaje, de memorización, recomunicación y reacción de un experto en una determinada rama de la ciencia, suministrando de esta forma, un consultor que pueda sustituirlo y/o apoyarlo con unas ciertas garantías de éxito. Es importante considerar que aunque los sistemas expertos contienen el conocimiento y la habilidad de un experto, no pueden dar solución problemas que aún las personas no han logrado resolver. [20]

A continuación se presenta una figura en la que se muestra en ejecución el sistema experto dando resultados ante un par de preguntas. La primera de ellas indaga por la edad del paciente; dado que la respuesta fue afirmativa indaga luego por la frecuencia en que hace ejercicio. Como la respuesta fue afirmativa el sistema le indica al usuario que lo más probable es que el paciente está en riesgo cardiovascular bajo. En la fig. 2 se puede apreciar también parte del código hecho en Prolog.

Se calcula que el sistema experto en su versión final tendrá aproximadamente 144 reglas, que serian las combinaciones más frecuentes de los síntomas que se presentan en los pacientes.

Cada una de las respuestas del sistema experto proporcionará los escenarios de simulación que luego se recrearán, mediante la simulación numérica, la evolución del paciente.

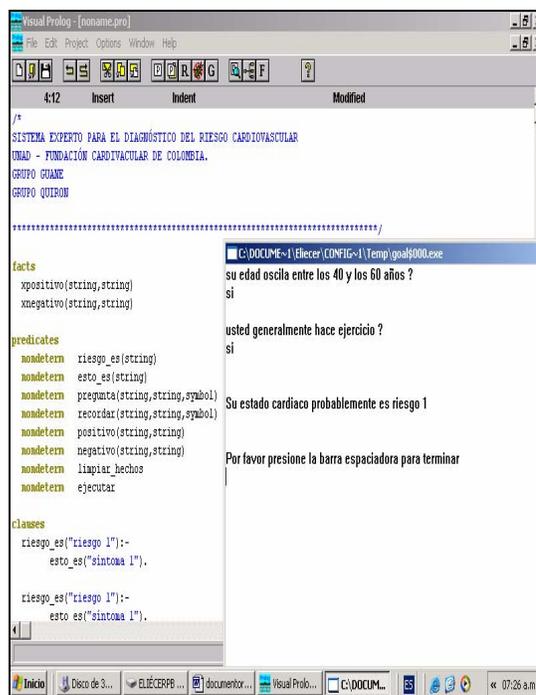


Fig. 2: Código fuente y ventana de ejecución del Sistema Experto. Fuente: Ventana de Visual Prolog

4) Conocimiento del Fenómeno y Conceptualización

En esta parte se hará una breve descripción de la fisiología cardiovascular.

El corazón acoplado a la circulación arterial y venosa.

La capacidad de adaptación del sistema cardio - circulatorio no puede explicarse sólo por las características de la fisiología cardiaca. Es indispensable comprender la fisiología del sistema circulatorio y la forma en que se integra o se acopla funcionalmente con el corazón. [22]

Como se sabe, el sistema circulatorio está formado por:

- A. *Las arterias mayores*, que llevan la sangre hacia los diversos territorios. Su elasticidad es un factor determinante de las características del flujo periférico y de las curvas de la presión arterial.
- B. *Las arteriolas de resistencia*, factor principal en la distribución del gasto cardíaco hacia los diversos territorios y en el nivel de la presión arterial;
- C. *Los capilares*, a través de los cuales se produce el intercambio de gases, agua y otros elementos, a nivel tisular.

D. *Las venas*, que contienen la mayor parte del volumen sanguíneo y que determinan la capacitancia del sistema.

E. *La sangre*, elemento de transporte de O₂ y demás componentes requeridos para el correcto funcionamiento del organismo.

Existen dos variables fundamentales en el funcionamiento del sistema circulatorio:

A. *la resistencia al flujo y*

B. *la relación continente-contenido.*

La **resistencia** al flujo está dada principalmente por las **arteriolas de resistencia**, por la **viscosidad de la sangre** y en proporción menor por el resto del sistema circulatorio.

La **relación continente-contenido** depende fundamentalmente de la **capacitancia del sistema** y del **volumen intravascular**. La capacitancia está determinada mayoritariamente por la capacitancia venosa y en menor grado por la capacitancia del resto del sistema.

Para estudiar el funcionamiento del sistema circulatorio, se debe evaluar la resistencia y la volemia, midiendo simultáneamente el gasto cardíaco. Un método clásico consiste en interponer un receptáculo entre las cavas y el corazón. Con este modelo se puede regular la resistencia circulatoria global (Fig. 3).

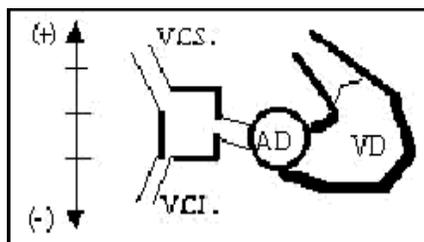


Fig.3: Modelo cardíaco mediante el cual es posible variar la resistencia del retorno venoso. Fuente: Fisiología Cardiovascular. Apuntes de Cardiología.html

Al elevar el receptáculo a la entrada del corazón, aumenta la resistencia al retorno venoso, con lo cual se observa una progresiva disminución del gasto cardíaco. Por el contrario, al bajar el receptáculo, disminuye esta resistencia con el consiguiente aumento del gasto cardíaco. Al bajar el receptáculo hasta un punto cercano a 0 mm Hg (de presión del

retorno venoso) las venas se colapsan y no observan mayores aumentos del flujo.

1) *Cambios de la relación continente-contenido:*

Si hay aumento de la volemia (o disminución de la capacitancia vascular) habrá mayor retorno venoso para las mismas resistencias, con desplazamiento del punto "A" hacia la derecha y del punto "B" hacia arriba. En casos de disminución de la volemia (aumento de la capacitancia) se observará la situación opuesta.

2) *Cambios en la resistencia circulatoria arterial:*

Al disminuir la resistencia circulatoria se observa que a igual resistencia al retorno hay mayor retorno venoso, es decir el punto "B" se desplaza hacia arriba y en caso de aumentar la resistencia circulatoria el punto "B" se desplaza hacia abajo. Sin embargo este fenómeno es menor a medida que disminuye el retorno venoso, de manera que la detención circulatoria se produce en el mismo nivel de resistencia al retorno, es decir no hay desplazamiento del punto "A".

De estas situaciones se puede concluir que el punto "A" es característico de una determinada relación continente-contenido y el punto "B" varía tanto con los cambios en la relación continente-contenido como por cambios en la resistencia circulatoria.

La variable "**resistencia circulatoria arterial**" depende principalmente de la **resistencia arteriolar** y en menor proporción de los otros componentes vasculares, en particular de la viscosidad de la sangre.

La **resistencia vascular total o resistencia vascular sistémica** es la suma de las resistencias circulatorias de los diferentes órganos y tejidos del organismo, las que a su vez se modifican en función de variables locales o sistémicas, que regulan el flujo sanguíneo por el órgano o tejido en cuestión, de tal manera que cuando hay disminución de la resistencia se produce un aumento del flujo.

Un ejemplo de esta situación es el comportamiento de los vasos de los músculos esqueléticos en relación con el ejercicio. Cuando realizamos un ejercicio en el cual participan numerosos músculos

en forma sucesiva se produce una vasodilatación de las arteriolas musculares con la consiguiente disminución de la resistencia y un aumento del flujo y del aporte de O₂ a los músculos. Simultáneamente hay aumento del retorno venoso, del tono simpático e incluso (en esfuerzos mayores) de las catecolaminas circulantes, con lo que se produce taquicardia, venoconstricción y cambios en la contractilidad que en su conjunto explican los notables aumentos del gasto en este tipo de ejercicios.

En relación a los cambios de la relación "conteniente-contenido", los ejemplos más característicos se refieren a situaciones más bien patológicas, como son las hemorragias o deshidrataciones, etc. donde existen cambios muy obvios de la volemia. En situaciones fisiológicas también pueden producirse cambios de la capacitancia venosa por venoconstricción o venodilatación, particularmente en relación a las variaciones del tono simpático.

3) Interacción corazón - sistema circulatorio (acoplamiento).

Fijándose bien, las curvas de función ventricular y las curvas de función circulatoria tienen variables similares: en el primer caso es "gasto cardíaco" vs. "presión de llenado" y en el otro "retorno venoso" vs. "resistencia al retorno".

Con el objeto de mostrar en forma integrada el funcionamiento del corazón y del sistema circulatorio, se pueden hacer algunas simplificaciones y analizar en un mismo gráfico curvas de función circulatoria y curvas de función ventricular, donde las variables serán "Gasto cardíaco = Retorno venoso" y "Presión de llenado = Resistencia al retorno". A continuación graficamos los cambios que se producen en el ejercicio (figura 4):

- A. la curva de función circulatoria se desplaza por disminución de la capacitancia (efecto simpático) y disminución de la resistencia arteriolar;
- B. la curva de función cardíaca se desplaza por aumento de la contractilidad (efecto simpático).

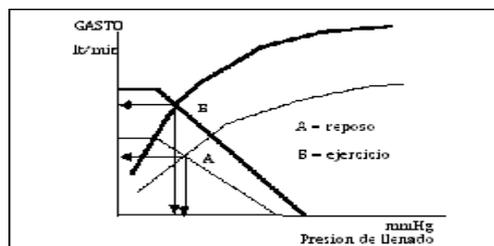


Fig. 4: Curvas de función circulatoria y de función ventricular, Fuente: Fisiología Cardiovascular. Apuntes de Cardiología.html

Como se puede apreciar en la (fig. No 4), los cambios adaptativos hacen posible que el Gasto cardíaco se incremente varias veces, sin variaciones en la presión de llenado y en forma casi instantánea. Este tipo de esquema es sin lugar a dudas una simplificación, pero permite tener una mejor imagen de compleja relación entre el corazón y el sistema circulatorio periférico y de los mecanismos que explican los cambios adaptativos que se observan tanto en situaciones fisiológicas como patológicas.

5) Dinámica De Sistemas

La Dinámica de Sistemas en este trabajo, tiene como fin último la conceptualización del fenómeno de la enfermedad coronaria. [23]

El modelo planteado (el funcionamiento del corazón) se representa a través de Evolución 2.5., software para la simulación en dinámica de sistemas desarrollada por el grupo SIMON de la Universidad Industrial de Santander. En dicho modelo intervienen las variables de aurícula derecha, ventrículo derecho, aurícula izquierda ventrículo izquierda, las válvulas cardíacas, el pulmón y el cuerpo. En el siguiente diagrama de Forrester se muestran las diferentes interrelaciones que hay entre cada una de ellas en el proceso de circulación del flujo sanguíneo Fig. 5

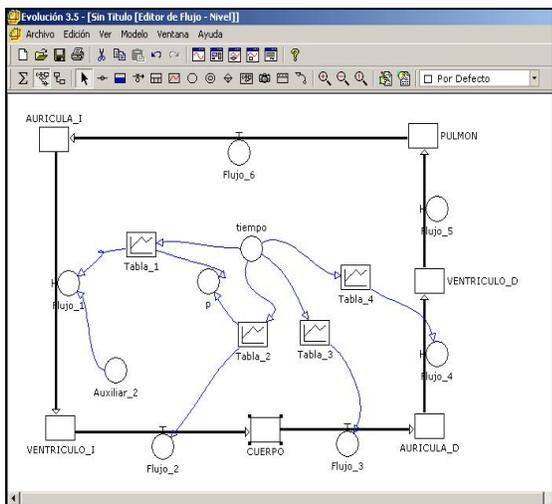


Fig. 5: Diagrama de flujos funcionamiento del corazón
Fuente: Diagrama de flujos en Evolución 3.5

Los resultados de la simulación del modelo se muestran en las siguientes figuras en las que se puede apreciar, a razón tanto la sístole y la diástole, en un espacio temporal definido en milésimas de segundo (fig. 6)

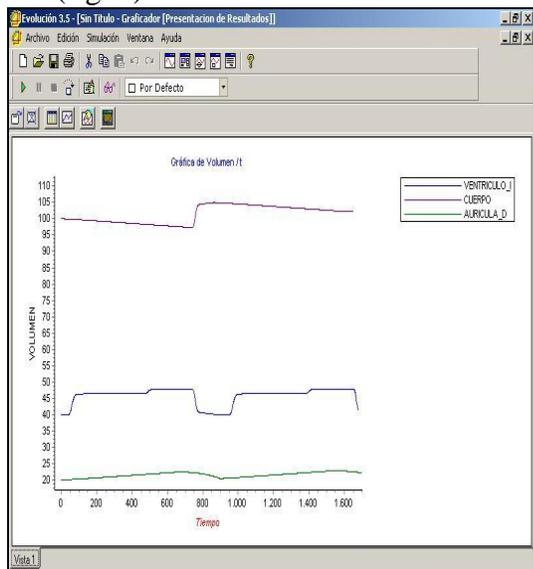


Fig. 6: Gráficas de simulación: Ventrículo izquierdo, Aurícula derecha
Fuente: Evolución 3.5

6) Ambiente Informático

Para que esta propuesta de software contribuya al aprendizaje de los pacientes y médicos, se requiere del uso de la simulación, de tal forma que se facilite los medios que expliquen lo acontecido en el sistema, a fin de que puedan entender su dinámica, las razones de los resultados que se han obtenido y

al mismo tiempo poder ampliar el número de recomendaciones para el tratamiento a la enfermedad. [24,25]

7) Ingeniería Del Software

Una definición contemporánea de lo que se considera que es la ingeniería del software se le debe a Roger Pressman quien la considera como el “análisis, diseño, construcción, verificación y gestión de entidades técnicas (o sociales). Dichas definiciones ayudan a responder las preguntas que pueden surgir al intentar abordar el estudio de cualquier tipo de fenómeno con aplicaciones de ingeniería. [15]

Llevando lo expuesto anteriormente, al caso de estudio del que trata este trabajo, una de las preguntas que ha surgido en el transcurso de la investigación es la siguiente: ¿cómo debería ser el proceso de diseñar e implementar una herramienta software que emule un micromundo de la dinámica del comportamiento del sistema cardiovascular? Una propuesta para responder a este interrogante, se puede explicar a través de una tecnología multicapa, planteada desde la perspectiva de Roger S. Pressman; la cual se define como la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable hacia el desarrollo, operación y mantenimiento del software

En estos casos el proceso para el desarrollo del software más adecuado es la realización por prototipos. A medida que se vaya avanzando en los prototipos se irá integrando con el modelo y el sistema experto.

Para la implementación de la herramienta informática se desarrollará con una interfaz con Visual Basic, a través de la cual se comunicarán entre sí Evolución 3.5, y Visual Prolog 5.2. [26]

IV. CONCLUSIONES.

Las aplicaciones tecnológicas en el campo de la medicina han optimizado las curvas de aprendizaje y la creación de nuevo conocimiento, que asegura altos niveles de calidad en los servicios médicos y

por ende la disminución de los problemas de salud a nivel mundial.

De la experiencia particular que se ha tenido en el trabajo interdisciplinario entre profesionales de la computación y de la medicina se ha concluido nuevamente que de esta sinergia puede resultar trabajos, que con una visión mucho más amplia, pueden aportar en el sentido de plantear soluciones a problemas que desde un solo campo del conocimiento no sería posible.

Cuando se dispone de un lenguaje transdisciplinario, como la dinámica de sistemas, se comprueba una vez más que puede ser posible la comunicación fluida entre profesionales de diferentes áreas del conocimiento en favoreciendo la resolución de problemas que se escaparían a los esfuerzos de una sola área del conocimiento.

Cuando se hacen representaciones de fenómenos con el concurso de otros campos del conocimiento adicionales a la dinámica de sistemas, como en este caso, los sistemas expertos, se puede apreciar que se consigue una mayor capacidad de recrear el comportamiento de los fenómenos modelados.

REFERENCIAS

- [1] A.D. Lopez AND C.C. Murray. The global burden of disease, 1990-2020. *Nat Med*. 1998;4:1241-1243.
- [2] Murray CJ, Lopez AD. Alternative projections of mortality and disability by cause 1990-2020: Global Burden of Disease Study. *Lancet*. 1997;349:1498-1504.
- [3] Pan American Health organization. Calculation for age-standardized Mortality Rate (ASMR) for selected countries in Latin America and the Caribbean (1996-1999, per 100,000 pop., by gender). 2004. Ref Type: Internet Communication
- [4] H. Eyre, R. Kahn, R.M. Robertson. Preventing Cancer, Cardiovascular Disease, And Diabetes. Acs/Ada/Aha Scientific Statement. *Circulation*. 2004; 109:3244-3255.
- [5] R.M. Conroy, K. Pyorala, A.P. Figtgerald, Estimation Of Ten-Year Risk Of Fatal Cardiovascular Disease In Europe: Teh Score Project. *European Hear Journal* 2003; 24, 987-1003
- [6] D. Levy. [A Change Of Heart : How The People Of Framingham, Massachusetts, Helped Unravel The Mysteries Of Cardiovascular Disease](http://www.framingham.com/heart). Disponible En [Http://Www.Framingham.Com/Heart](http://www.framingham.com/heart).
- [7] B. Milstein, J. Homer. Background On System Dynamics Simulation Modeling. Uit A Summary Of Mayor Public Health Studies. C:\Cdc\Syndemics\Sd Models\Handouts\Sd Background For Public Health (4.11.05).Wpd Printed: June 29, 2004
- [8] J.N. Cohn, A.A. Quyyymi. N.K. Hollenberg. Surrogate Markers For Cadiovascular Disease. *Funcional Markers. Circulation* 2004;109 (Suppl Iv):Iv-31-Iv-46
- [9] B. A. Cipra. Failure In Sight For A Mathematical Model Of The Herat. *Siam News*, Volume 32, Numbre 8.
- [10] Jacobson T.,. Clinical Context: Current Concepts Of Coronary Heart Disease Management. *Am J Med* 2001 Apr 16; 110 Suppl 6a: 3s-11s.
- [11] K. S. Reddy. Cardiovascular Diseases In The Developing Countries: Dimensions, Determinants, Dynamics And Directions For Public Health Action *Public Health Nutrition* 2002; 5(1a), 231-237.
- [12] Third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP)Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III): Final Report. US Department of Health and Human Services; Public Health Service; National Heart, Lung, and Blood Institute.[NIH Publication No. 02-5215. September 2002.] *Circulation*. 2002;106: 3143-3420.
- [13] Executive summary of the third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol In Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA*. 2001;285:2486-2497.
- [14] J. Aracil Introducción A La Dinámica De Sistemas. Madrid: Alianza Editorial, 1995. P. 60.
- [15] G.S. Berenson, S.R. Srinivasan and W. Bao, et al. Association between multiplecardiovascular risk factors and atherosclerosis in children and youngadults. The Bogalusa Heart Study. *N Engl J Med*. 1998;338:1650-1656.
- [16] J. Wan, B Steele, S.A. Spicer. A One-Dimensional Finite Element Method For Simulation-Based Medical Planning For Cardiovascular Disease. *Computer Methods In Biomechanics And Biomedical Engineering* 2000; 1-22
- [17] A.A. Pacher. Modelo De Ventrículo Izquierdo. Md. Facultad De Medicina, Universidad Católica De Córdoba. Argentina. 1997.
- [18] C.S. Peskin. Mathematical Aspects Of Heart Physiology. (Thesis), Courant Institute Of Mathematical Sciences. New York 1974.
- [19] J.C. Grignola, F. Ginés. Mecánica Del Ventrículo Derecho. *Actas De Fisiología*. 2000; 6: 131-163.
- [20] E. Castillo Y E. Acure Elena. Sistemas Expertos: Aprendizaje E Incertidumbre. Paraninfo. Madrid,1989
- [21] J. Homer, A. Jones, D. Seville. The Cdc's Diabetes Systems Modeling Project: Developing A New Tool For Chronic Disease Prevention And Control. Submitted

To The 22nd International Conference Of The System Dynamics Society. July 25-29, 2004 (Oxford, England).

- [22] C.F. Rothe, J.M Gersting. Cardiovascular Interactions: An Interactive Tutorial And Mathematical Model.. *Adv Physiol Educ* 26:98-109, 2002
- [23] J. Hommer, G. Hirsch, M. Minniti, Models For Collaboration: How System Dynamics Helped A Community Organize Cost – Effective Care For Chronic Illness.
- [24] L.F. Luna-Reyes, D.L. Andersen. Collecting And Analyzing Qualitative Data For System Dynamics: Methods And Models (Published Conference Proceedings Style) International System Dynamics Conference In Palermo, Italy, July 2002
- [25] H.H. Andrade, I. Dynner, A. Espinosa. “Formalización De La Dinámica De Sistemas” En Pensamiento Sistémico: Diversidad En Búsqueda De Unidad. 1ª Ed. Vol 1 Editorial Universidad Industrial De Santander Bucaramanga. 2001 Pp 234.
- [26] H.J. Holst Vej 3-5 C. Prolog Development Center A/SDK-2605 Broendby, Copenhagen Denmark. Available in www.visual-prolog.com

RESUMEN DE HOJAS DE VIDA DE LOS AUTORES

Melquisedec gutierrez beleño m.d

Cirujano de la uis, cirujano cardiovascular de la universidad complutense de madrid. Ha participado en los siguientes congresos: morbilidad hospitalaria post cirugía cardiaca en pacientes geriátricos. Comparacion con un grupo control. M.gl., j.m.ribera, m.gutierrez, a. González, l. Nuñez. Xix congreso nacional de cardiología.zaragoza, septiembre de 1985.

Aurícula unica en el adulto : valoración clinica ecocardiografía y hemidunamica en casos. Resultados quirurgicos. F. García fdez., j. Sotillo, m. Gil, e.j. oliver, j. Villalobos, l. Nuñez. Xiii jornadas internacionales de actualización cardiovascular.madrid, diciembre de 1985.

Corrección total de la transposición de las grandes arterias complejas (con c.i.d. y/o estenosis pulmonar).problemática alternativas quirurgicas y resultados. J. Cabo, g. Cordovillar, f. Alvarez, j. Silvestre, m. Gutierrez, c. Gamallo.

Reconstrucción de la insuficiencia valvular aórtica. Experiencia inicial de la fundación cardiovascular.angarita l., gutierrez m., castillo v., calderon j., losada y.

Xvii congreso col. Cardiología.estenosis valvular aortica. Predictores de disfunción ventricular izquierda post operatoria.gutiérrez m, calderon j., castillo v., choles f., jaramillo g., montero a., luengas c., vargas r., villamizar e.

Xviii congreso col. Cardiología - medellin -1999presion de fin de diastole del ventriculo izquierdo elevada como factor predisponente de fibrilación auricular post revascularización miocardica.gutiérrez m, calderon j., castillo v., choles f., jaramillo g., montero a., vargas r., villamizar e.

Xviii congreso col. Cardiología - medellin \1999estudio de mortalidad temprana en una cohorte de pacientes llevados a doble recambio valvular: resultados preliminares

Artículos publicados

Morbilidad hospitalaria post cirugía cardiaca en pacientes geriátricos comparacion con un grupo control. M. Gil, j.m. ribera, m. Gutierrez, r. Morales, l. Nuñez, i. Ubeda revista española de cardiología ; vol 38, supl ii - 1 1985 ; 18 -19.

Cirugía cardiaca y edad avanzada ; indicaciones, riesgos morbilidad y mortalidad. Gil, m.gutierrez, j.m. ribera, r. Morales, l. Nuñez. *Cardiología geriátrica*.- editorial enediccionls s.a. capítulo xii, 166 - 181.

Annuloaortic ectasia and adult polycystic kidney. A frequent association.-nuñez. F.o. connor, a.g. pinto, m.gil, m. Gutierrez, chest, 90/2/ august, 86.

Neumopericardio y taponamiento cardiaco. Actualización del problema. O’connor, l.f. nuñez l., pinto a.g., gutierrez m., gil m., aguado f. *Revista de cirugía torácica y cardiovascular*, vol 4 86 ; 212 - 220.

Sustitutos de pericardio heterologo : una llamada de atención. L.f.o. connor, l. Nuñez, m. Gil, a.g. pinto p. Aragoncillo, j. Fariña, m. Gutierrez.revista española de cardiología, 198, 39 ; 379 - 381.

Atrioplastia reductora para fibrilación auricular. (en prensa) m. Gutierrez, v. Castillo, c. Morillo, j. Calderon, l. Angarita, f. Choles.

Eliécer pineda ballesteros

Ingeniero de sistemas y economista de la UIS, candidato a magister en informática de la UIS. Docente de la universidad industrial de Santander, la universidad cooperativa de Colombia y la universidad Manuela Beltrán y tutor de la universidad nacional abierta y a distancia. Miembro del grupo Simon de investigaciones de la uis y del grupo guane de la Unad. Ha participado con ponencias aprobadas en los siguientes eventos: vi congreso iberoamericano de informática educativa, ponencia aprobada. “el cambio en el aprendizaje en economía, guiado con micromundos construidos con dinámica de sistemas, micras 1.0”. I congreso colombiano de dinámica de sistemas. Ponencia presentada: “la dinámica de sistemas, los micromundos y el aprendizaje en la economía.” I congreso latinoamericano de dinámica de sistemas. Ponencia presentada: “caleb: micromundo de la dinámica del comportamiento de la membresía de una iglesia cristiana. Una aplicación de pensamiento dinámico sistémico y simulación en la búsqueda de espacios de aprendizaje organizacional.” Vii congreso colombiano de informática educativa. Ponencia presentada. “¿cómo desde la ingeniería de sistemas, abordar el estudio de los procesos de participación ciudadana, en procura de crear competencias ciudadanas? Burgópolis 1.0. Ii encuentro colombiano de dinámica de sistemas. Ponencia presentada: “dinámica de sistemas y econometría: en la búsqueda de posibilidades o imposibilidades de reconocimiento a partir de la reflexión de una experiencia en economía.” En la actualidad

esta trabajando en una investigación con la unad la cuál pretende mostrar si el uso de modelos de simulación pueden apoyar los procesos de aprendizaje autónomo, bajo la tutela del dr facundo maldonado y acompañado por los coinvestigadores, la ingeniera adriana lizcano y el ingeniero victor uribe. Su principal línea de trabajo está concentrada en el modelado económico con dinámica de sistemas, tema sobre el cual la propuesta de investigación de la maestría. De la maestría

Ana eddy monsalve torra es ingeniera de sistemas de la universidad incca de colombia he participado.” Vii congreso colombiano de informática educativa. Ponencia presentada. “¿cómo desde la ingeniería de sistemas, abordar el estudio de los procesos de participación ciudadana, en procura de crear competencias ciudadanas? Burgópolis 1.0. En la actualidad esta trabajando con el grupo de investigación quiron y me desarrollo como facilitadora de calidad de la fundación cardiovascular de colombia.

Rosa maría cavanzo cuevas: es ingeniero de sistemas de la universidad Incca de Colombia, estuvo adscrita a la secretaría de educación del municipio de Bucaramanga como docente de básica primaria y secundaria en las áreas de informática y tecnología durante 2 años, con una certificación del sena – seccional Santander en fundamentación de la formación profesional con base en competencias. Ha participado con ponencias aprobadas en los siguientes eventos: xi congreso nacional de estudiantes de ingeniería de sistemas: ponencia aprobada: “caleb: micromundo de la dinámica del crecimiento de la membresía de una iglesia cristiana. Un enfoque sistémico-organizacional”. Taller latinoamericano de software educativo. Ponencia presentada: “caleb: micromundo de la dinámica del comportamiento de la membresía de una iglesia cristiana. Una aplicación de pensamiento dinámico sistémico y simulación en la búsqueda de espacios de aprendizaje organizacional.” I congreso latinoamericano de dinámica de sistemas. Ponencia presentada: “caleb: micromundo de la dinámica del comportamiento de la membresía de una iglesia cristiana. Una aplicación de pensamiento dinámico sistémico y simulación en la búsqueda de espacios de aprendizaje organizacional.” Vii congreso colombiano de informática educativa. Ponencia presentada. “¿cómo desde la ingeniería de sistemas, abordar el estudio de los procesos de participación ciudadana, en procura de crear competencias ciudadanas? Burgópolis 1.0. Actualmente se desempeña como directora del proyecto de sistematización de los procesos de gestión organizacional de la iglesia cristiana pentecostés del movimiento misionero mundial “la 43” de la ciudad de Bucaramanga, en conjunto con la firma desarrolladora de software ingenieros de sistemas isl Ltda. Su principal línea de trabajo está concentrada en el creación de ambientes pedagógicos a través de micromundos con dinámica de sistemas en las áreas organizacional y de formación básica primaria.

Marisol carreño jaimes: médico general de la universidad autónoma de Bucaramanga, médico de urgencias de la

fundación cardiovascular de Colombia y el hospital universitario de Santander, médico investigaciones del grupo cirugía cardiovascular quiron. Primeros auxilios 1998. Segundo simposio de enfermedades vasculares 1999. I congreso nacional de medicina 2001. Certificación reanimación básica (avb) 2004. Certificación reanimación avanzada (avca) 2004. Taller de arritmias 2004. Iii diplomado en urgencias médicas 2004. Viii jornadas urgencias pediátricas 2004. I congreso actualización médica unab p y p 2004. Curso de cardiología para no cardiólogos 2004. Diplomado asistencia del paciente crítico en urgencias y conceptos básicos de uci 2004. Congreso urgente saber de urgencias hospital universitario San Vicente de Paul (Medellín) 2005. I congreso iberoamericano de atención de urgencias. Ascome. Bogotá 2005

Planteamiento de Políticas para la Solución de Problemas en Pymes del Sector de Productos Cárnicos

Restrepo P., Juan Carlos., Rave S., Juan Felipe y Peña Z., Gloria Elena
jcrestr2@unalmed.edu.co, jfraves@unalmed.edu.co, gepena@unalmed.edu.co
Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Resumen— En este estudio se hace un análisis del sector de productos cárnicos utilizando el concepto de “Competitividad Sistémica” y los niveles analíticos que ésta propone, mediante el cual, se pudieron identificar algunos problemas del sector y entre éstos, algunos que son susceptibles de ser modelados a través de la dinámica de sistemas. Una vez desarrollados y evaluados los modelos, se pasó a analizar las políticas existentes en la actualidad para solucionarlos, estableciendo 2 escenarios que combinaban dichas propuestas (Políticas); (Establecimiento de una cadena cárnica, Centros de Investigación para generar proyectos productivos, entre otras). Como resultado del análisis de las tendencias observadas se propone, continuar con las políticas existentes fortaleciéndolas e incentivar el acceso al crédito, la inversión en Investigación y la agremiación de las Pymes entre sí y con la mayor cantidad de agentes posibles.

Índice de Términos—Modelamiento, Enfoque sistémico, Políticas en el sector de productos cárnicos, Simulación con dinámica de sistemas.

I. INTRODUCCIÓN

Las Pymes se han convertido en el motor de la economía regional y nacional. Los últimos gobiernos han hecho grandes esfuerzos por promover la creación y el desarrollo de nuevas empresas (pequeñas y medianas), presentándolas como una salida a la crisis económica, gracias a “...la generación de empleo, el desarrollo regional, la integración entre sectores económicos, el aprovechamiento productivo de pequeños capitales...” [1].

Sin embargo, actualmente existe el “sentimiento”, en parte de los agentes económicos, de que las Pymes presentan falencias en su estructura tanto

organizacional como operacional y financiera; según [2], en el año 2003 existía en las Pymes una falta de planeación y gestión estratégica en los empresarios, al concentrarse en superar los problemas del día a día; otro problema que exponía [2], era la falta de agremiación entre Pymes, necesaria para mejorar los niveles de productividad y acceder a nuevos mercados; según [3], en el año 2003 las Pymes colombianas no disponían de personal calificado en el área de investigación.

La producción de las Pymes del sector de cárnicos aumentó 10.2% anual real promedio entre 1992 y 2000, la tasa más alta de toda la Pyme industrial en el período; éste comportamiento y otras características de él, permiten tomar a éste sector como el mejor candidato para el estudio, ya que posee una fuerte incidencia en la economía nacional y regional, específicamente en Antioquia.

Este trabajo presentan inicialmente los antecedentes y definiciones necesarias para introducir al lector en el tema de la investigación, el cual es el de hacer un análisis del Sector del Procesamiento de Alimentos Cárnicos, utilizando el concepto de “Competitividad Sistémica” y los niveles analíticos que este propone (Meta, Macro, Meso y Micro), con el fin de identificar los elementos tanto endógenos como exógenos que forman parte de los modelos que se desarrollaron para analizar los diferentes problemas.

Posteriormente, se presentan los modelos desarrollados, y se procede a hacer un análisis de las políticas aplicadas hasta la fecha y de sus resultados a corto, mediano y largo plazo sobre el sector, bajo diferentes perspectivas.

En la parte final se presenta los resultados de este análisis, lo mismo que las conclusiones y

recomendaciones.

En el marco teórico se presenta una descripción del sector de producción de alimentos cárnicos y las características de las Pymes que participan en él, ya que serán el objeto de análisis del presente trabajo; En el capítulo 2 de la tesis [4], se realiza un análisis más detallado sobre el mismo utilizando diferentes niveles de estudio.

II. MARCO TEÓRICO

A. PYME: pequeña y mediana empresa

1) Pequeña empresa: [1].

- Planta de personal entre once (11) y cincuenta (50) trabajadores, o
- Activos totales por valor entre quinientos uno (501) y menos de cinco mil (5.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes”

2) La Mediana Empresa.

- Planta de personal entre cincuenta y uno (51) y doscientos (200) trabajadores, o
- Activos totales por valor entre cinco mil uno (5.001) a treinta mil (30.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes.”

B. Perfil Estructural y Evolución de las Pymes en Colombia:

1) *Las PYMES Industriales.* Estudios realizados en el 2003 [5], basados en datos del DANE, mostraron que:

Las Pymes industriales cayeron en un 1.5% en su producción durante el 2002, debido principalmente a una caída en la mediana empresa del 3.55%, aunque es de resaltar el crecimiento de las pequeñas empresas en un 0.5%, así como de su producción y ventas en un 1.9% para el mismo periodo [5].

Como conclusión, el estudio de la ANIF dice que la producción de las Pymes sufrió deterioros en los dos últimos años de la década de los noventa, sin embargo, el ajuste en los costos y en el empleo redundó en un aumento de la productividad del 5% promedio anual. Las Pymes continuaron preparándose para la exportación con ajustes en sus costos de mano de obra y materia prima. Aunque el ajuste fue bueno para ellas, existe una fuerte

dependencia de la demanda interna, la cual se contrajo considerablemente durante el periodo. Con las proyecciones de recuperación de la economía se espera que las Pymes recuperen la dinámica favorable [5].

2) *Pymes del sector de producción de alimentos cárnicos.* El gasto público bien enfocado es un factor importante para el logro de la competitividad, por esto los niveles de corrupción que presenta el país perjudican el logro de este objetivo [6].

La reducción en las tasas de inflación de los últimos años ha llegado a niveles históricos (cercaos al 6%) para el país, sin embargo, el nivel actual lo ubica en el puesto 76 entre 102, lo cual significa retos para lograr tasas menores [6].

III. ANÁLISIS DEL SECTOR CÁRNICOS Y SUS PROBLEMAS REALES

Los conceptos expuestos en esta sección permiten describir y analizar el sector cárnico, para posteriormente modelarlo y hacer simulaciones de él, a partir de diferentes políticas que ayuden a la toma de decisiones.

A. Enfoque sistémico

El enfoque sistémico se refiere a la visualización de la organización no sólo como un grupo de partes, sino que da importancia a la relación entre ellas y a las sinergias que resultan de dicha interacción.

B. Niveles económicos y sociales

1) *Nivel Meta.* Existen varios factores asociados a éste nivel, como:

Elevadas cargas impositivas, existe poco interés por parte de los empresarios por tener al Estado como cliente. Un 60% de los empresarios manifiestan que la violencia e inseguridad los han afectado; La legislación laboral en el país atraviesa por un período de inestabilidad; La situación de la infraestructura logística de servicios públicos en el país facilita, al menos en las ciudades principales, el funcionamiento adecuado de las Pymes. Únicamente un 32% de las Pymes se financian con crédito bancario y el 24% lo hace con capital propio, el 44% restante lo hace por medio de fuentes diversas.

Capacidad social de organización e integración y

capacidad de los actores para la integración estratégica.

En el sector de productos cárnicos el nivel de asociación es mínimo entre las Pymes, se puede decir que es nulo; con respecto a las grandes, empresas tampoco existe interés por buscar la integración.

2) *Nivel Macro*. Existen varios factores asociados a éste nivel, como:

La devaluación de la tasa de cambio durante los años pasados fue muy significativa con respecto a la inflación, lo que le permitió al país ganar mayor competitividad a nivel internacional, pues estimula las exportaciones [5]. Sin embargo, durante el año 2004 se observó el fenómeno contrario, es decir la revaluación del peso frente al dólar, lo cual perjudica la competitividad del país en los mercados internacionales al desestimular la producción con fines de exportación e incentivar las importaciones.

El sector posee una elasticidad precio de la demanda alta, además, el sector tiene un impuesto específico (Impuesto de degüello creado por la Ley 8 de 1909). Con respecto a las licencias en INVIMA, exige una serie de requisitos para la fabricación, importación y ventas de alimentos.

3) *Nivel Meso*. Los factores determinantes en este nivel son:

- Política de infraestructura física.
- Política educacional.
- Política tecnológica.
- Política de infraestructura industrial.
- Política Regional.
- Política selectiva de importación.
- Política selectiva de exportación.

En el Plan Estratégico de Antioquia (PLANEA) se analiza al departamento con una visión sistémica, de largo plazo, y a partir de sus riquezas y potencialidades, propone 4 líneas estratégicas:

Construcción de tejido social, Promoción del cambio para un desarrollo humano, equitativo y sostenible, Articulación e integración territorial de Antioquia, Revitalización de la economía.

Según la propuesta de el PLANEA, el departamento posee varios productos prioritarios que son los lácteos, los cárnicos, la caña panelera, el caucho, el cacao y la reforestación.

4) *Nivel Micro*. Existen varios factores asociados a este nivel, como:

Características de la Producción y el Empleo: La producción de las Pymes del sector cárnico creció 10.2% anual promedio entre 1992 y el 2000, Las Pymes del sector cárnicos tienen una alta influencia en el nivel de ocupación del sector, contribuyen con cerca del 39.5% del total de personas empleadas. Se considera como un generador importante de empleo con una tasa de crecimiento anual promedio del 1.4%. [5].

Precio y dependencia de las importaciones: los precios de los productos cárnicos crecieron entre 1998 y 2002 en promedio 7.8 %, con respecto a la relación con los mercados externos: según el estudio hecho por la ANIF, las ventas Pymes de este sector, representan sólo el 1.4%; en el 2000 se exportaron únicamente US \$ 0.2 millones [5].

Importaciones: El consumo aparente del sector es bajo (10% de las importaciones). En el 2002 las importaciones del sector llegaron a US \$ 61.2 millones [5].

Precio y Costos: Con respecto a las materias primas se puede decir que éste es uno de los cinco sectores que mayor dependencia tienen de unos pocos insumos. Una alta dependencia de las materia primas significa que los precios y los márgenes están sujetos a variaciones de los precio y los insumos [5].

C. Identificación y Descripción de Problemas

Los principales problemas identificados fueron:

- El Bajo Acceso al Crédito
- El alto número de gravámenes y la inestabilidad del sistema tributario
- El bajo nivel de Asociatividad y poco poder de negociación.
- La Alta dependencia de la Materia Prima.
- Los bajos niveles de Investigación, Innovación y Desarrollo en el sector
- El bajo acceso a mercados externos
- El aumento en el nivel de trabajadores temporales
- La disponibilidad y calidad del recurso humano
- La infraestructura física y logística de comunicación y servicios públicos.

- La infraestructura industrial
- El ingreso cada vez mayor de socios con preferencias arancelarias, que debilitan la protección real del sector.

IV. MODELAMIENTO DE PROBLEMAS

En sección se hace una selección de algunos problemas susceptibles de ser modelados mediante la Dinámica de Sistemas, para ilustrar el uso de esta herramienta aplicada al análisis del sectorial.

A. Selección de Problemas del Sector Cárnicos

En la sección III se identificaron los problemas más frecuentes en el sector de producción de alimentos cárnicos en el Departamento de Antioquia. Aunque todos los problemas identificados son sumamente importantes, debido, principalmente a lo extenso que sería analizar todos y cada uno de ellos, en esta sección se seleccionaron sólo tres para ilustrar el uso de la herramienta de dinámica de sistemas; estos son:

- Problema de Bajo Nivel de Investigación, Innovación y Desarrollo en el sector.
- Problema de Bajo Acceso al Crédito.
- Problema de Alta Dependencia de la Materia Prima y poco Poder de Negociación.

En la Fig. 1 representa el diagrama causal del problema de bajo nivel de investigación, innovación y desarrollo.

El sector en general muestra bajos niveles de investigación, innovación y desarrollo (solo el 4% de las investigaciones realizadas entre 1995 y 2000 por empresarios Pymes, se referían al sector de alimentos y bebidas) , tanto en nuevos productos, como en mejoramiento de procesos; esta falta de interés en la I+D, ocasiona que con respecto a los estándares mundiales y a las grandes empresas, las Pymes del sector vean disminuidas la capacidad de sus plantas, la capacitación del personal y vean a la vez, como aumentan sus costos de producción, debido a procedimientos ineficientes y con bajo componente tecnológico. Todo esto, se ve reflejado en el bajo nivel de competitividad que presenta el país con respecto al mundo (puesto 63 entre 102 países, 56 en tecnología [3]. Debido a estos factores, y otros entre los cuales se encuentran que

los productos cárnicos tienen muchos sustitutos (productos de carne de res, cerdo, pollo, búfalo, caballo, etc.) y que se tiene un bajo nivel de exportación 0.4% de las ventas en la gran empresa y 1.4% de las ventas de las Pymes, el acceso a nuevos mercados es muy reducido, lo cual se traduce en muy pocas posibilidades de aumentar los ingresos de las empresas, disminuyendo así su participación en el mercado, vista como el porcentaje de sus ventas con respecto al total de ventas del sector y produciendo cada vez márgenes de utilidad menos estables de un período a otro, que desincentivan la ya pequeña o nula inversión que puede realizarse en investigación, innovación y desarrollo en la Pyme de productos cárnicos. Sin embargo, un alto nivel de competitividad genera muchos incentivos para copiar las tecnologías, procedimientos y técnicas que generaron ventaja para llegar a este nivel, como resultado, en el corto plazo se generan copias del producto o proceso que disminuye el nivel de ventas esperado. Debido a la dificultad que existe actualmente en cuanto a tiempo de trámites de patentes, las copias son difícilmente controladas, desincentivando la inversión en I+D por parte de las empresas.

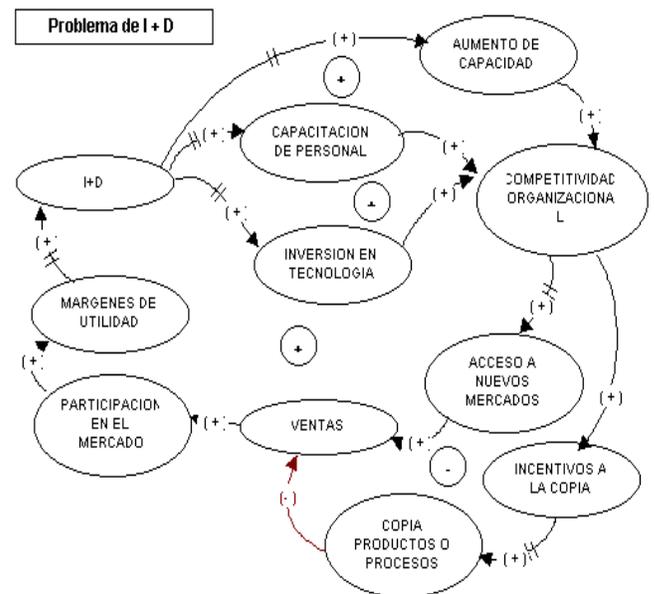


Fig. 1. Modelo causa-efecto del problema de I+D.

Diagrama Causal Problema de Bajo Acceso al Crédito. La Fig. 2 representa el diagrama causal del problema de bajo acceso al crédito.

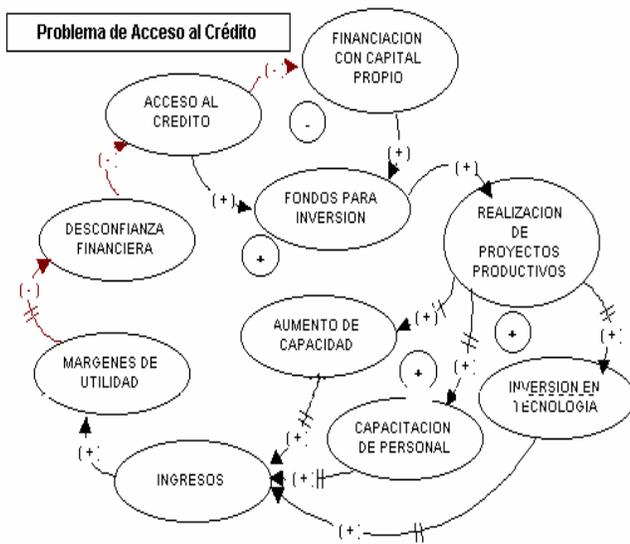


Fig. 2. Diagrama causa-efecto del problema de Acceso a Crédito.

La dificultad no sólo del sector sino de las Pymes en general para acceder a créditos, (“Únicamente un 32% de las Pymes se financian con crédito bancario y el 24% lo hace con capital propio, el 44% restante lo hace por medio de fuentes diversas [5], produce una baja capacidad de inversión principalmente en la realización de proyectos, cuya finalidad es la del mejoramiento y actualización de equipos y procesos con el propósito de aumentar la capacidad de producción de la empresa, capacitación de personal e inversión en tecnología. Estos proyectos, se ven entonces imposibilitados para realizarse, disminuyendo así las posibilidades de que estas empresas aumenten sus ingresos, mejoren sus márgenes de utilidad, le den a la empresa fortaleza financiera, que a su vez genera confianza en la firma como tal, evitando que los empresarios deban recurrir a la garantía personal como requisito para el acceso a créditos (al 26% de las Pymes que se financian a través del sistema financiero se les exige la garantía personal, por encima de la hipotecaria, porque el aval de la firma no es suficiente) [7], y facilitando el acceso a nuevos créditos con ésta y otras finalidades.

La Fig. 3 representa el diagrama causal del problema de alta dependencia de materia prima y poco poder de negociación.

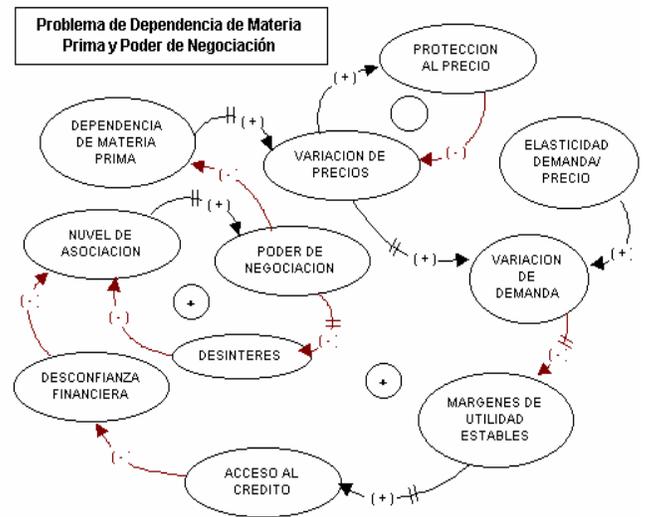


Fig. 3. Modelo Causa-Efecto del problema de la dependencia de la materia prima y del poder de negociación.

Entre más varíe la demanda, más varían los ingresos, debido a que el precio se debe mantener en un rango competitivo para no disminuir el consumo, se deben generar protección por parte de la empresa privada, para poder mantener relativamente estables los precios, así, si los costos de materia prima aumentan, los productores de cárnicos solo pueden transmitir este aumento en una mínima parte a los consumidores, a través del precios, sin empezar a disminuir la demanda por el producto, luego los márgenes de utilidad se ven afectados y se hace difícil mantenerlos estables, lo que como ya se ha visto dificulta el acceso al crédito, y genera desconfianza en las Pymes como posibles miembros de asociaciones y gremios, esto sumado al bajo interés en agruparse, debido en gran parte a la idiosincrasia antioqueña, hace que las asociaciones existentes tengan un reducido número de participantes y afiliados que no tiene el suficiente poder de negociación frente a las poderosas agremiaciones de sus proveedores (Federación Nacional de Avicultores de Colombia, Fondo Nacional Avícola, Asociación Colombiana de Porcicultores, Fondo Nacional de la Porcicultura y Federación Nacional de Ganaderos (FEDEGAN)), y clientes reforzando el ciclo.

B. Validación del modelo

1) Problema de Baja Inversión en I&D.

Las variables a analizar en la validación del problema de Baja Inversión en I&D, son:

Competitividad, I&D, y Mercado Nacional. Las Figs. 4(a) y 4(b), muestran el comportamiento de la variable Competitividad Internacional.

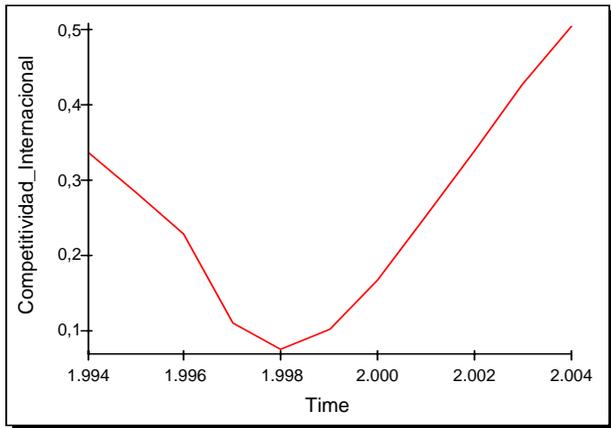


Fig. 4(a). Comportamiento de los resultados de la simulación, de la variable Competitividad Internacional.

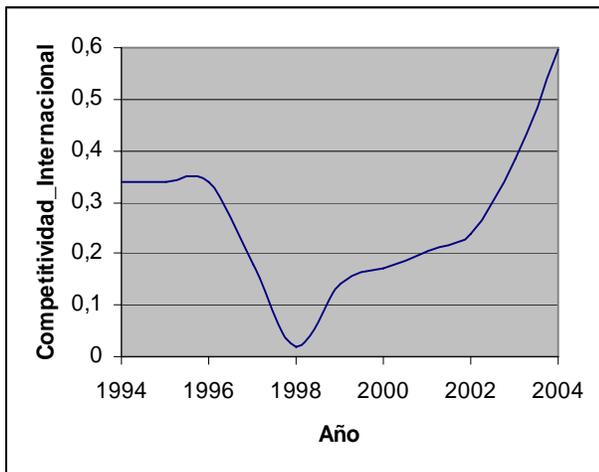


Fig. 4(b). Comportamiento real de la variable Competitividad Internacional.

Se observa en ella, cómo la tendencia de la simulación representa el 94,4% del comportamiento de la variable de nivel. La Competitividad del país tuvo una caída hacia el año 1998 en la que pasó de estar en la posición 33 entre 50 países a ocupar la posición 49. Esta tendencia está cambiando, representado el cambio en un incremento considerable. Debido al alto grado de aproximación que existe entre los datos reales y los arrojados por el modelo se puede utilizar para realizar pronósticos.

Según datos del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia la inversión en I&D en Colombia es del 0,24% del PIB, se observa en la Fig. 5 un

comportamiento de la variable que se ajusta a este dato, así el porcentaje de inversión en I&D varía entre 0.11% y 0.20%. Gracias a este comportamiento se puede confiar en este parámetro.

Es posible observar, que la inversión en investigación, en las Pymes, a partir del año 1998, tiende a ser cada vez menor; una de las explicaciones de esta caída en I&D, fue la recesión económica vivida entre 1998 y el año 2000.

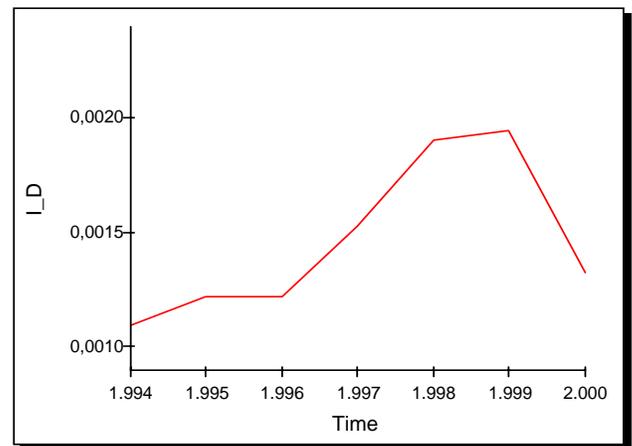


Fig. 5. Comportamiento de la variable Investigación y Desarrollo (I-D).

Un estudio similar se hizo para la variable Comportamiento de Mercado Nacional. Se observa en las Figs. 6(a) y 6(b) que la tendencia de ambas curvas, tanto la de los resultados de la simulación, como la correspondiente a los datos reales, son muy similares, donde el modelo simulado representa el 93.73% del comportamiento real de la variable; dicha característica permite realizar pronósticos respecto a ella.

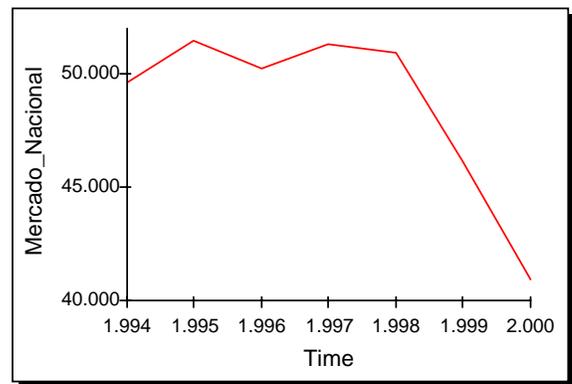


Fig. 6(a). Comportamiento de la variable Mercado Nacional; resultados de la simulación.

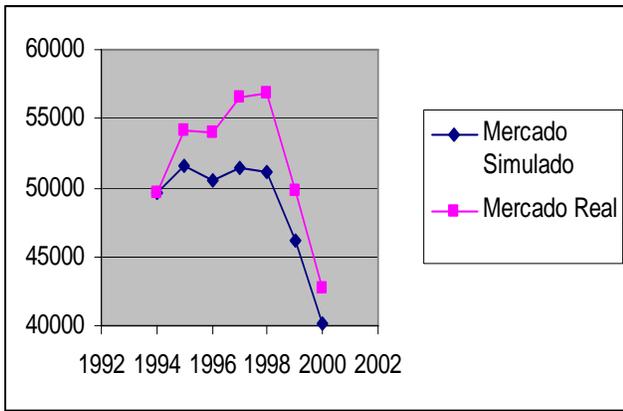


Fig. 6(b). Comportamiento de la variable Mercado Nacional. Resultados de la simulación y datos reales.

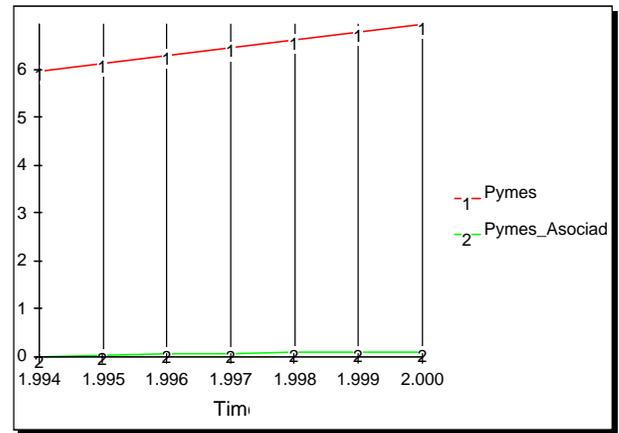


Fig. 8(a). Comportamientos simulado y real de las variables Pymes totales y Pymes asociadas.

La Fig. 7 muestra el comportamiento simulado de la variable Proyectos Productivos. Aunque la Información sobre la cantidad de proyectos productivos e investigaciones sobre tecnología de Cárnicos al interior de la Pymes es escasa, se encontraron indicadores de estas, como el número de proyectos financiados por Colciencias entre 1995 y 2000 (2) y las investigaciones realizadas por la Universidad de Antioquia entre 2000 y 2003 (25), los proyectos que se llevan a cabo en organismos como la CIAL están más enfocados al sector agrícola. Esta tendencia presenta un comportamiento creciente para explicar el desarrollo de esta variable.

2) *Problema de Bajo Poder de Negociación y Alta Dependencia de Materia Prima.*

La Figs. 8(a) y 8(b) representan los comportamientos de las Pymes totales y las Pymes asociadas.

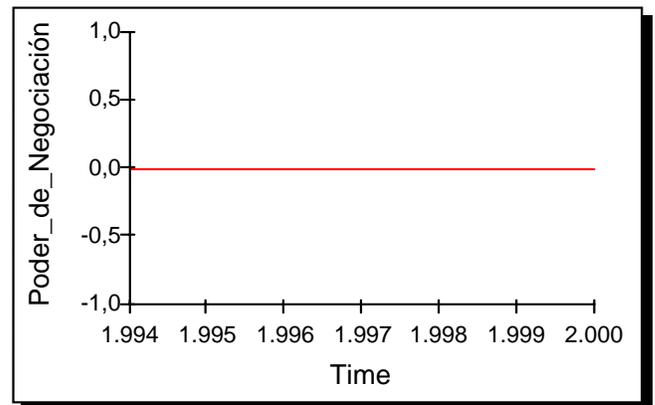


Fig. 8(b). Comportamiento simulado de la variable Poder de Negociación.

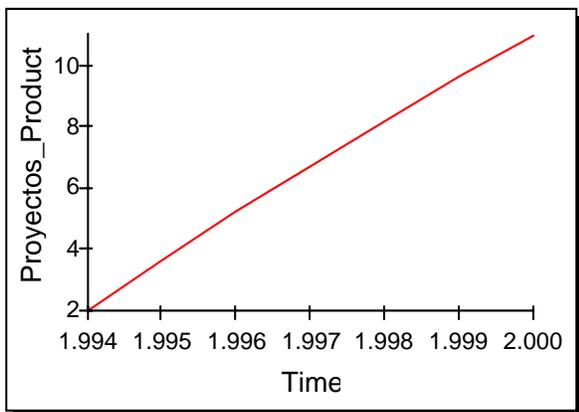


Fig. 7. Comportamiento de los Proyectos Productivos.

3) *Comportamiento de Costos y Ventas.*

En el caso de las ventas, se observa, en las Figs. 9(a) y 9(b), cómo el modelo explica las variaciones del ingreso por conceptos de ventas en un 91.4% y los gastos con relación a los costos en un porcentaje de 92.26%, lo cual permite la realización de estimaciones futuras.

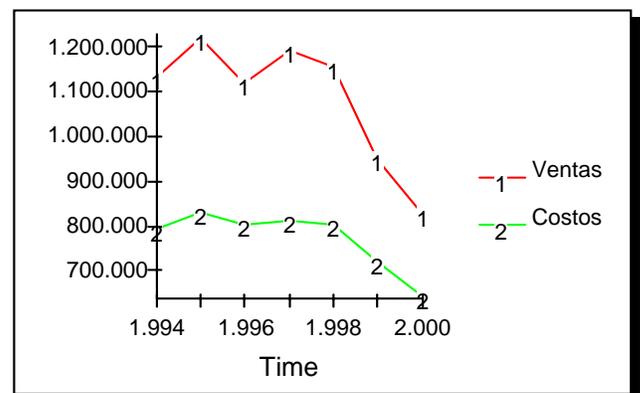


Fig. 9(a). Comportamiento de los resultados de la simulación para las variables Ventas y Costos.

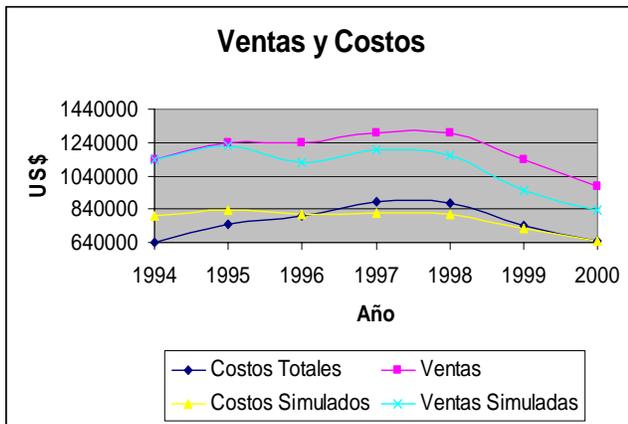


Fig. 9(b). Comportamiento de los resultados de la simulación y de los datos reales de las variables Ventas y Costos.

4) Comportamiento de Precios y Demanda.

La Figs. 10(a) y 10(b) representan los comportamientos, simulados y reales, de los precios y la demanda.

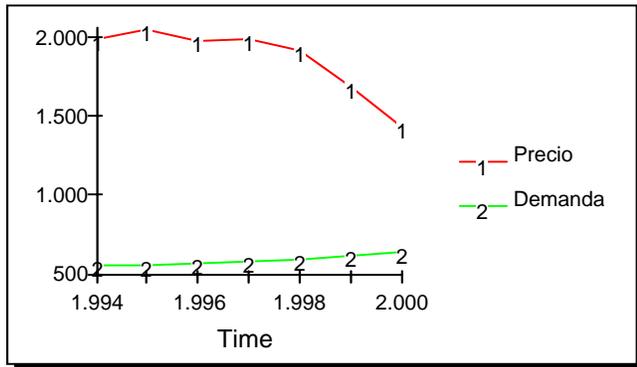


Fig. 10(a). Comportamiento de los resultados de la simulación para las variables Precio y Demanda.

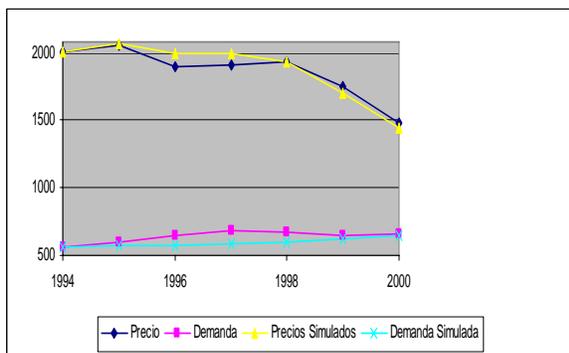


Fig. 10(b). Comportamiento de los resultados de la simulación y de los datos reales para las variables Precio y Demanda.

En el modelo se refleja claramente la ley de la oferta y demanda, así, a incrementos en el precio se disminuye la demanda; además los datos obtenidos por medio de la simulación son muy similares a los datos reales, explicando, en el caso de los precios el

97.6% del comportamiento y el 93.27% del comportamiento de la demanda, lo cual permite realizar pronósticos con estas variables de nivel.

C. Análisis de sensibilidad

1) Problema de Baja Inversión en I&D

Con respecto a este problema el modelo resultó ser poco sensible a cambios en los parámetros:

- Promedio_Anuar_Export:
- Promedio_Anuar_Import:
- Y algo sensible a cambios en los parámetros:
- Competitividad_Ini.
- Increm_Comp

2) Problema de Bajo Acceso al Crédito

Con respecto a este problemas el modelo resulto ser sensible a cambios en los parámetros

- Financiacion_externa
- Proyectos_Universidades
- Proy_inic
- Capacid_Ini, Capacit_Ini y Tec_Ini

3) Problema de Bajo Poder de Negociación y Alta Dependencia de Materia Prima

Con respecto a este problemas el modelo resulto ser sensible a cambios en los parámetros

- Pymes_Inic
- Inflación
- Crecimiento_en_Consumo_Per cápita
- Porcentaje_a_Proteger
- Elasticidad _demanda

El modelo resultó poco sensibles a los siguientes parámetros:

- Pymes_Agrem_Inic
- Precio_Inic
- Interés_en_Asociarse

V. POLÍTICAS

Para definir la eficacia de las políticas existentes, se propusieron escenarios que combinan las propuestas vigentes. Dichas propuestas son:

- Establecer una Cadena Cárnica.
- Generar más proyectos a través de Centros de Investigación.
- Incrementar el Acceso al Crédito
- Mantener la inflación con tendencia a la baja.

- Aumentar el acceso hacia y desde nuevos Mercados.

Se analizaron dos escenarios.

A. Escenario 1

En el escenario 1 se combina la generación de proyectos a través de Centros de Investigación, mantener la inflación en el valor de 5% y aumentar el acceso hacia nuevos mercados vía globalización, con baja protección incentivando la libre competencia.

Utilizando el Solver del paquete de simulación Powersim, se buscó el valor óptimo en los parámetros de Inflación, Proyectos de Universidades y Promedio Anual de exportaciones, buscando como objetivo mantener la tendencia de los precios, y mejorando la competitividad Internacional; los otros parámetros se suponen constantes.

Los Resultados para este escenario fueron: Proyectos_Universidades = 5.505294, Inflación = 0.052272 y Promedio_Anual_Export = 1.225152, con estos parámetros, luego de 20 años, se observa una caída en el acceso al crédito, esta caída se relaciona con la tendencia a la baja de los precios de la carne, lo cual genera bajos niveles de rentabilidad lo que a su vez se refleja en el nivel de confianza hacia las Pyme, la cual disminuye, y por ende, de acuerdo con los diagramas de causalidad el nivel de acceso al crédito también disminuye, pues las entidades financieras serían más reacias a prestar dinero; igualmente se observa un comportamiento estacional en la competitividad internacional que varía entre 11 y 57%. Es apreciable el aumento en la demanda y el mercado Nacional asociado a disminuciones en el precio.

B. Escenario 2

En el escenario 2 se tiene un sector con mayor interés en asociarse, que puede generar una verdadera cadena de cárnicos y mayor acceso al crédito, todas los demás parámetros se conservan constantes.

En el modelo se propuso aumentar al máximo posible el acceso al crédito inicial y el interés en asociarse; los resultados pueden verse en [3]. Al alterar los valores iniciales de los parámetros en cuestión, se obtuvieron resultados con tendencias

similares al escenario anterior, sin embargo, se ven suavizadas en los valores finales, el cambio más significativo es el del nivel de Negociación que aumenta visiblemente mejorando el nivel del precio y la demanda, tratando de equilibrarlas.

VI. CONCLUSIONES

El sector de la Producción de Alimentos Cárnicos, en especial para sus Pymes, tiene en el Departamento de Antioquia varios problemas, los más frecuentes son:

1) El Bajo Acceso al Crédito, el alto número de gravámenes y la inestabilidad del sistema tributario, el bajo nivel de asociatividad y poco poder de negociación, la alta dependencia de la materia prima, los bajos niveles de Investigación, Innovación y Desarrollo en el sector, el bajo acceso a mercados externos, el aumento en el nivel de trabajadores temporales, la disponibilidad y calidad del recurso humano, la insuficiente infraestructura física y logística de comunicación y servicios públicos, la escasa infraestructura industrial, el ingreso cada vez mayor de socios con preferencias arancelarias que debilitan la protección real del sector.

2) Las Pymes del sector se ven afectadas por las relaciones que se presentan entre ellas mismas, debido a que existen altos grados de desconfianza que impiden la organización y la formación de un gremio poderoso del sector tanto en forma horizontal (es decir con otros productores, que dificultan la creación de organizaciones de productores de alimentos Cárnicos) como en forma Vertical (con proveedores y clientes, que impiden crear una cadena productiva de Cárnicos). Las proyecciones generadas a través de los modelos muestran que mayores niveles de asociación, generan mejoras en el nivel de Competitividad internacional en el largo plazo.

3) Las entidades Bancarias, inclusive aquellas que tiene por fin la financiación de las Pymes presentan muchos problemas a la hora de otorgar créditos, y aunque en la actualidad un 32% de las Pymes acceden al crédito, las mayoría de las Pymes no alcanzan a cumplir las garantías de tipo personal que se exigen actualmente. La falta de crédito

reduce significativamente la capacidad de inversión en I+D, esto a su vez aumenta el rezago existente con respecto a los métodos, tecnologías y productos de los demás países, reduciendo así la competitividad de la región y el país en este sector. Las proyecciones obtenidas a través de la modelación mostraron una caída en el acceso al crédito en el futuro (1 punto porcentual en 50 años), lo cual afecta negativamente al sector.

4) El gobierno a través de políticas como la de los Centros de Investigación, que se generan dentro de las universidades y otros organismos de carácter público, colabora elevando el nivel de investigación, y a través de su política fiscal otorga ventajas a los productores nacionales, sin embargo en este tema la protección real para el sector de producción de alimentos cárnicos es muy baja ya que cada vez más países tiene menores impuestos efectivos para ingresar sus productos al país, a causa de los tratados comerciales existentes y los que están por venir, convirtiendo a las importaciones del sector en una verdadera amenaza para su futuro al no tener un futuro de exportaciones claro.

5) Existe un aumento en el consumo de la carne y los productos del sector cárnico en el mundo, esta tendencia se puede explicar por la reducción en el precio de estos productos debido a las mejoras en los procesos de elaboración en el mundo. Dicha tendencia es un factor exógeno, sin embargo se puede afirmar que entre más aumente el consumo per Cápita, mayor será el mercado nacional y mejorará el acceso al crédito.

Herramienta Dinámica de Sistemas. Facultad de Minas, Ingeniería Industrial. 2005.

- [5] Asociación Nacional de Instituciones Financieras (ANIF). 2003. Mercados PYMES. En: www.anif.com.co.
- [6] A. Langebaek. El Reto de la competitividad Empresarial. En: Los Retos de las Pymes. Pág. 14-17. 2003.
- [7] A. Rodríguez. Una Radiografía a la Pyme Colombiana. En: Los Retos de las Pymes. Pág. 24-27. 2003.

Juan Carlos Restrepo Pérea

Ingeniero Administrador, graduado como ingeniero en el año 2005. Realizó su Trabajo Dirigido de Grado en el área del sector de las PYMES de alimentos, específicamente en el sector de los productos cárnicos, para lo cual utilizó la modelación de sistemas por medio de la simulación con Dinámica de Sistemas. Actualmente labora en el área administrativa de una empresa privada.

Juan Felipe Rave Soto

Ingeniero Administrador, graduado como ingeniero en el año 2005. Realizó su Trabajo Dirigido de Grado en el área del sector de las PYMES de alimentos, específicamente en el sector de los productos cárnicos, para lo cual utilizó la modelación de sistemas por medio de la simulación con Dinámica de Sistemas. Actualmente labora en el área administrativa de una empresa privada.

Gloria Elena Peña Zapata

Profesional en Ingeniería Industrial, con maestría en Ingeniería de Sistemas, y doctorado en Ingeniería Industrial. Profesora de la Universidad Nacional de Colombia en el área de Investigación de Operaciones, con énfasis en simulación; ha participado en varias investigaciones, y ha presentado ponencias en eventos nacionales e internacionales

REFERENCIAS

- [1] CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 905 de 2004 Por medio de la cual se modifica la Ley 590 de 2000 sobre promoción del desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa colombiana y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 45.628, de 2 de agosto de 2004.
- [2] M.F. Campo. "Las Alianzas Empresariales traen Dividendos. En: Los Retos de las Pymes". Pág. 28-31. 2003.
- [3] M. R. Guerra de mesa. La innovación es el camino. En: Los Retos de las Pymes. Pág. 54-56. 2003.
- [4] J.F. Rave; J.C. Restrepo P. Planteamiento de Políticas para la Solución de Problemas en las Pymes del Sector de Procesamiento de Alimentos Cárnicos con el Uso de la

Un Modelo Determinístico, basado en dinámica de sistemas, para la logística de la cadena Láctea de la Sabana de Bogota

Orjuela Castro Javier Arturo.
jorjuela@udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Resumen - En esta ponencia se presenta un modelo logístico basado en dinámica de Sistemas, que permite simular en el software I Think el comportamiento de la cadena Láctea de la sabana de Bogotá, a partir de una caracterización de la cadena, bajo la disciplina logística y de elementos microeconómicos y de producción.

La ponencia se estructura en tres partes. En la primera, se presentan elementos teóricos de logística y de cadena de abastecimiento, antecedentes de la caracterización del sector y de la cadena y la metodología empleada para la realización de la investigación. La caracterización del sector junto con el marco teórico, permite el establecimiento de elementos para el diseño del modelo.

La segunda parte presenta el diseño del modelo en dinámica de sistemas que incluye la estructura del mismo. La tercera presenta la aplicación del modelo, y el análisis de los resultados, con y sin estrategias, lo que permite su validación, a la luz de los datos obtenidos en la caracterización.

Palabras claves - Modelo sistémico, dinámica de sistemas, agroindustria láctea, logística.

I. INTRODUCCIÓN

El reciente enfoque de cadenas productivas agroindustriales en Colombia permite al gobierno y entidades privadas el desarrollo de manera concertada y teniendo en cuenta los diferentes actores a lo largo de ella.

Para la conformación de cadena Agroindustrial de Lácteos, en años recientes se ha firmado el acuerdo

de competitividad y se han adelantado un número de estudios que permiten caracterizarla, y analizar su comportamiento.

Dado la necesidad de establecer estrategias que permitan el desarrollo de la cadena y que respondan a su dinámica, se hace necesario identificar los factores relevantes con este propósito. Las estrategias pueden ser de desarrollo de productos o procesos, de mejora de materiales, de maquinaria o también en procesos de gestión a través de la cadena.

En este sentido, la dinámica presentada en logística en la última década, en las organizaciones como factor para lograr ventajas competitivas. La aplicación de estos conceptos, puede convertirse en un pilar importante para el desarrollo de la cadena Agroindustrial de Lácteos.

En el ámbito macroeconómico la cadena láctea enfrenta varios problemas que van en detrimento de su competitividad a escala internacional e incluso en el orden nacional. Tales problemas hacen referencia a las continuas fluctuaciones en la tasa de cambio, tasas de interés, déficit fiscal, infraestructura vial y de servicios públicos[1]. De igual forma, la baja calidad de la leche y el aumento indiscriminado de las importaciones de leche en polvo son algunos de los problemas que afectan a toda la cadena de lácteos del país.

II. PROBLEMA DE ESTUDIO

De lo anterior se establece como problema de estudio las características logísticas de la cadena agroindustrial Láctea de la sabana de Bogotá, y el desarrollo de un modelo, basado en Dinámica de Sistemas, que incluya la logística como elemento relevante.

Como objetivo general se plantea Desarrollar un modelo logístico que permita la modelación del comportamiento de la cadena Láctea de la Sabana de Bogotá, con el fin de, a partir de su simulación, establecer estrategias que permitan la generación de ventajas competitivas.

III. MARCO TEÓRICO.

La logística se ha definido de diferentes formas, George Cyrus Thorpe, teniente coronel de la Infantería de Marina de los EEUU, escribe en 1917 escribe el libro “*Logística pura. La Ciencia de la preparación para la guerra*” quien sentaría las bases conceptuales de la logística[19]. Nace como disciplina científica de carácter militar utilizada posteriormente en diversos campos (industrial, comercial, agropecuaria, militar, educativa, informática, hospitalaria, entre otros.)[2] y como un factor determinante en la competitividad.

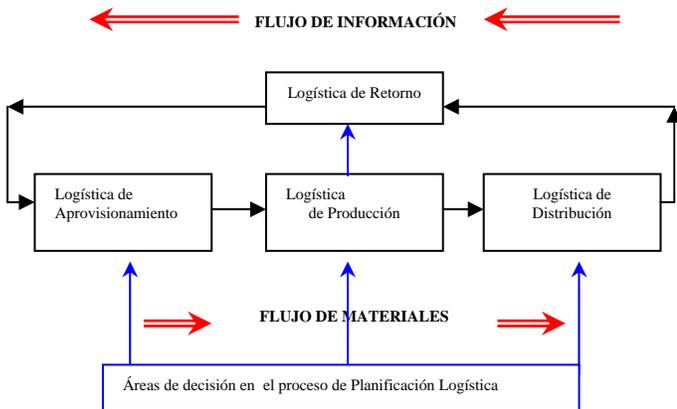


Fig. 1. Sistema Logístico

Fuente: Camacho Manuel, Revista Científica, Centro de Investigaciones y desarrollo científico, Univ Distrital Vol 4, 2002, pag, 27

Por su parte, el término genérico de cadena se asocia con un campo de la estructura económica definido por un producto o grupo de productos en cuyas interrelaciones verticales y horizontales inciden elementos del sistema de producción e intercambio y factores de orden externo a éste; la cadena comprende entonces subconjuntos de elementos que considerados de manera aislada impiden la comprensión de la totalidad de las actividades económicas relacionadas con los productos objeto de estudio.

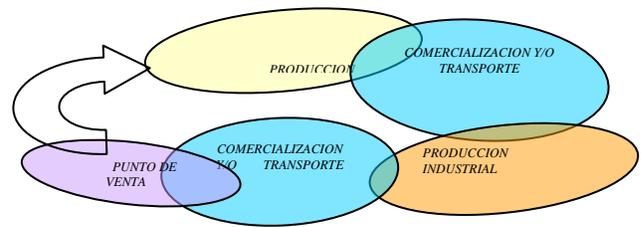


Fig. 2. Enfoque de cadena

Fuente: Perspectiva de análisis de la cadena Agroindustrial. [Orjuela, Calderón, 2000]

Según el enfoque de cadena agroindustrial, existen dos ópticas diferentes para el análisis: la de los industriales, que privilegian la estrategia de industrialización para describirlas, analizarlas y proyectarlas y la de los sistémicos, que proponen un análisis de la totalidad de la cadena, definiendo en ellas unos subsistemas que interactúan dinámicamente, tal como se presenta en la teoría general de sistemas planteada por Bertalanffy.

Existen dos consideraciones frente a los sistemas. Una la tradicional o reduccionista, postula que un sistema por complejo que sea, puede ser descrito en termino de sus partes. La otra holista, parte del hecho de que un sistema no puede ser fragmentado en partes y que por lo tanto la comprensión debe ser desde una perspectiva del todo (organicistas, globalistas o sistémicos) [4]. Según Bertalanffy en su teoría general de sistemas, esta se basa en la premisa de que hay propiedades de los sistemas que no se derivan discretamente de las partes o

componentes, sino de la combinación única de los componentes que forman el conjunto o todo¹.

IV. METODOLOGÍA

Para la construcción del modelo se empleó la estrategia esquematizada en la gráfica uno. La cual permite el planteamiento del modelo logístico.

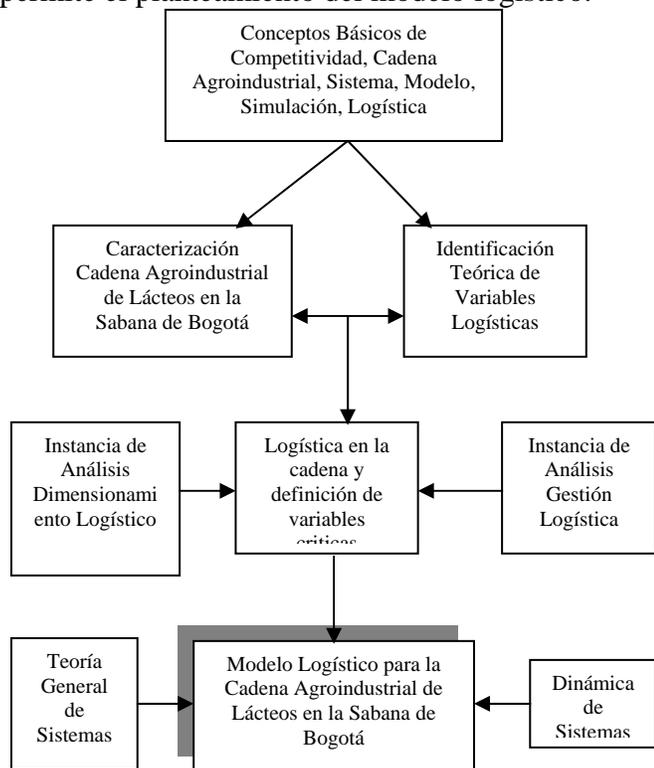


Fig. 3. Metodología de análisis - Fuente: Orjuela Javier, 2004.

Para la realización del trabajo se recolectó y analizó información secundaria y se elaboró y aplicó instrumentos de recolección de información primaria (encuestas).

Para la elaboración del modelo, se empleó una metodología combinada de diferentes autores, principalmente la propuesta por Forrester.

Para la validación del modelo y de las estrategias de mejora de la cadena se empleó el software I THINK.

V. ESTRUCTURA DEL MODELO

La metodología utilizada para definir el modelo logístico para la cadena Láctea de la sabana de Bogotá fue la siguiente:

- 1) Caracterización de la cadena, por eslabones.
- 2) Definición de factores, variables y parámetros para el modelo.
- 3) Elaboración del modelo general
- 4) Ingreso de datos al modelo para descripción del comportamiento del sistema y simulación de cambio en factores, variables o parámetros fundamentales, para ver el comportamiento del sistema.
- 5) Simulación del Modelo con los cambios. Evaluación y conclusiones de medidas de desempeño.

A. Modelo causal.

El modelo presenta un conjunto de 13 sectores interconectados por flujos de material y flujos de información. Los flujos de material representan las relaciones que se establecen entre los seis eslabones definidos (Hato, Intermediario, Industria, Distribuidor, Punto de Venta y Consumidor) para la cadena, también se representa el flujo de insumos entre proveedores y fábrica.

Los flujos de información representan dos tipos de relaciones, el que tiene que ver con el flujo de pedidos y el que representa el flujo de dinero. El primero representa de qué manera los eslabones solicitan producto (material) de los demás, el segundo muestra como es la economía de cada eslabón

¹ BERTOGLIO, Introducción a la teoría general de sistemas 1986.

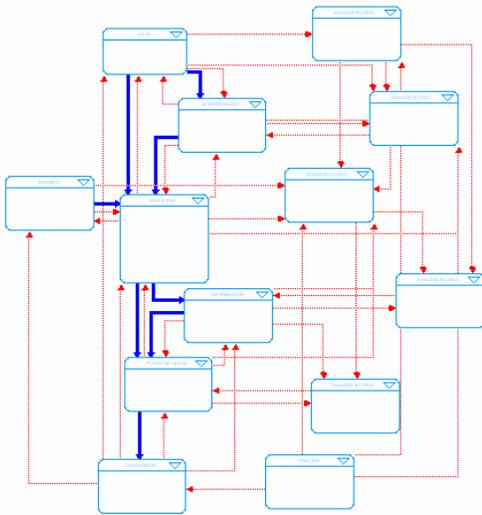


Fig. 4. Modelo causal. - Fuente: Orjuela Javier, 2004.

1) Definición de las variables de carácter logístico de la cadena agroindustrial de lácteos en Colombia.

En este aparte se presentan las variables que intervienen en el modelo.

A. Variables independientes:

- 1) *Cantidad de producción:* cubija las variables que indican las cantidades a producir de leche en el hato, y de productos procesados en la Industria
- 2) *Cantidad de Almacenamiento:* en estas variables están comprendidas las cantidades almacenadas en cada uno de los eslabones, bien de leche cruda o de productos terminados.
- 3) *Cantidad transportada:* aquí se incluyen las cantidades transportadas entre los diferentes eslabones.
- 4) *Cantidades demandadas:* comprende las cantidades que se demandan desde el consumidor hasta el hato, relacionando los diferentes eslabones.
- 5) *Distancias de Transporte:* Son las distancias entre puntos de producción y de procesamiento, así como distancias entre puntos de procesamiento y de distribución o centros de consumo.

B. Variables Dependientes

- 1) *Costo y gastos.* Se refiere a todos los costos en que incurre cada uno de los eslabones.
- 2) *Calidad.* Referida a materia prima conforme, calidad de higiénica y de composición de la leche y la de los productos derivados lácteos.
- 3) *Capacidad de producción:* se refiere a la capacidad que deben tener los diferentes establecimientos hatos e Industria, para poder cumplir con las demandas.
- 4) *Capacidad de almacenamiento:* referida al a capacidad de almacenamiento en cada eslabón de leche y/o productos procesados.
- 5) *Capacidad de transporte:* la capacidad que deben poseer los diferentes medios de transporte entre los eslabones.

C. Variables exógenas:

- 1) *Precio:* determinado por factores externos e internos al sistema, tales como ingreso, costumbres, empleo.
- 2) *Demanda:* determinada por factores externos tales como empleo, poder adquisitivo, entre otros.
- 3) *Cantidades de Producto:* Varían de acuerdo a las capacidades de los sistemas de la cadena, la cantidad de producción en hato y a las demandas del producto por parte de los centros de consumo y/o consumidores.

D. Eslabón Hato

El modelo planteado para este eslabón tiene fundamentalmente tres elementos de análisis. El primero para el calculo de la población de animales: vacas lecheras necesarias para la producción de leche, el segundo la cantidad de leche producida y suministrada al sistema, y el tercero la cantidad de establecimientos hatos requeridos para la producción de esta leche. La

leche es vendida directamente a la Industria o al intermediario.

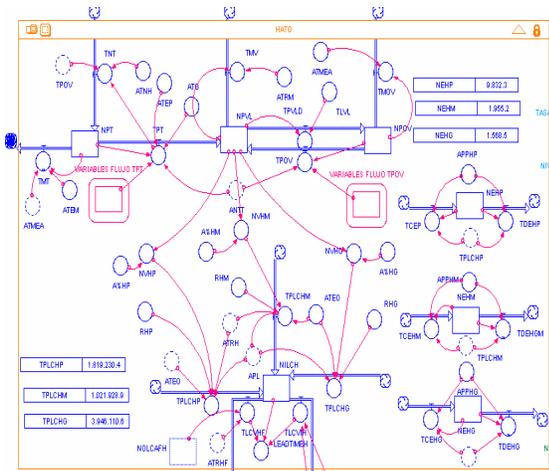


Fig. 5: Eslabón Hato

E. Eslabón Intermediario

Este eslabón es más sencillo, tiene básicamente tres elementos. El flujo de materiales, la leche recibida de hato, inventariada y vendida a Industria. Los pedidos recibidos y por industria y el número de establecimientos. Este eslabón lo complementa el sector económico para su análisis, de costos de transporte y distancias recorridas.

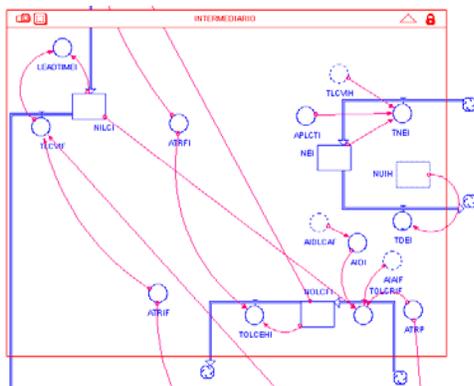


Fig. 6: Eslabón Intermediario

F. Eslabón Industria

Este eslabón presenta los siguientes elementos: el flujo de materia prima (leche-cruda), de insumos, de producto en proceso y de producto terminado.

Los pedidos de leche de la industria a intermediario y a hato, a proveedores de insumos, de almacén de producto terminado a producción, de producción a almacén materia prima (leche). Este eslabón al igual que el anterior presenta el comportamiento de los establecimientos. En este eslabón se tiene en cuenta además los requerimientos de insumos por producto terminado, por lo tanto es importante la información de normas técnicas de consumo. También presenta un sector que permite el análisis económico.

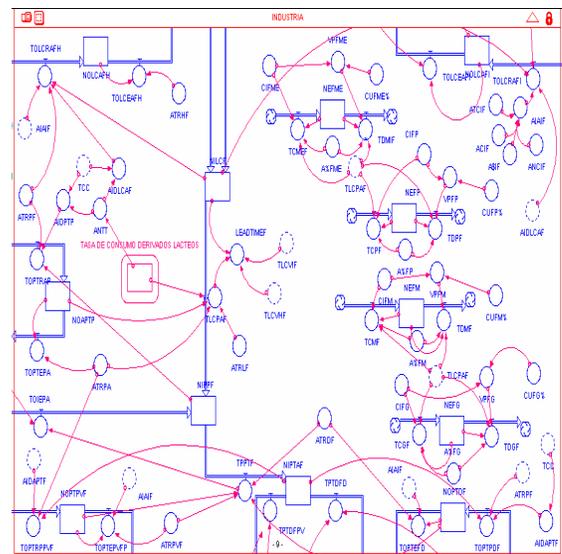


Fig. 7: Eslabón Industria

G. Eslabón Distribuidor

El eslabón de Distribución comercializa productos terminados, derivados de leche. Presenta tres elementos de análisis, de materiales: los productos terminados recibidos de la Industria, inventariados y vendidos a Punto de venta. Los pedidos: recibidos de punto de venta y entregados a industria y el número de establecimientos. Se conecta con un sector de análisis económico, que incluye el análisis de costos de transporte y distancias recorridas.

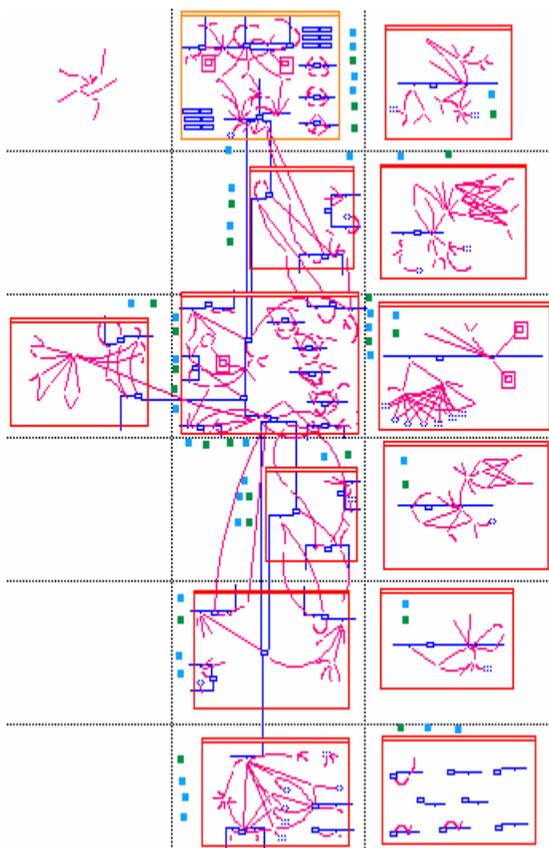


Fig. 11: Modelo Completo

VI. RESULTADOS

El desarrollo de este proyecto brinda, como resultados principales, la construcción de un elemento teórico pertinente para el análisis de cadena, apoyado en dinámica de sistemas, y su modelamiento con base en los planteamientos de Forrester, como base para futuros estudios en el campo agroindustrial. El modelo puede ser empleado para explicar el estudiar el comportamiento dinámico de la cadena, frente a lo logístico y para validar estrategias que permita mejorar el desempeño, acordes con las características de los eslabones.

Los elementos fundamentales en el análisis logístico son el flujo de materiales y el flujo de información asociado a este, siendo además relevantes las políticas de inventario y de pedido.

En la fig. 12 muestra el comportamiento de las variables analizadas en uno de los subsistemas, en este caso el consumidor:

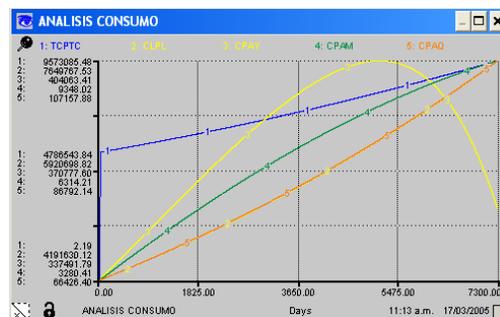


Fig. 12. Comportamiento del consumo derivados lácteos:

REFERENCIAS

- [1] CNL, Consejo Nacional Lácteo.
- [2] S. E. Feres. "Más allá de un proceso logístico". Sociedad colombiana de Logística. Abril de 1998.
- [3] E. López D. y S.V. Martinez, Iniciación a la Simulación Dinámica, Editorial Ariel. S.A Barcelona, 2000.
- [4] G. Gepffrey, Simulación de Sistemas, Editorial Diana, México. 1981
- [5] L. Hiller, Introducción a la investigación de Operaciones, Editorial McGraw Hill. 1997
- [6] J. W. Forrester, Industrial Dynamic, Massachusetts Institute of Technology 1961. Traducido por Editorial Buenos Aires, 1972.
- [7] A. Machado, El sistema Agroalimentario. Editorial. Siglo XXI - CEGA. Bogotá 1987.
- [8] J. Orjuela, M. E. Calderón, Perspectiva de análisis de la cadena Agroindustrial, Revista Científica, Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2001.
- [9] J. Orjuela, Exposición Logística, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, 2001.
- [10] J. Aracil, F. Gordillo, Dinámica de Sistemas. Alianza Editorial. 1997
- [11] C. Ossa, Notas de clase Simulación, Maestría en Investigación de Operaciones y Estadística.
- [12] O. Pérez, I. Yepes, Modelo Logístico de Asociación Empresarial para la Pequeña y Mediana Empresa Agroindustrial Colombiana en el Sector de Lácteos, Grupo de Investigación GICIC, Tesis de grado Ingeniería Industrial, Director Javier Orjuela. 2000.

- [13] PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, Departamento Nacional de Planeación. El Salto Social. Bases para el Plan Nacional de Desarrollo. 1994-1998. Santa Fe de Bogotá. 1994
- [14] PROEXPORT, Análisis exportador del sector agroindustrial. Colombia, Noviembre de 1997.
- [15] PORTER, Estrategia Competitiva, Competitividad de las naciones Tomado a partir de los conceptos de,. 1985
- [16] J. Prawda, Métodos y modelos de investigación de operaciones. Editorial Limusa, vol 1, 2000.
- [17] J. Prawda, Métodos y modelos de investigación de operaciones. Editorial Limusa, vol 2, 2000
- [18] H. Taha, Investigación de Operaciones una introducción, Editorial Pearson, 1998.
- [19] THORP, Logística Pura.
- [20] R. Coss, Simulación un enfoque Practico, Editorial Limusa, 2000.
- [21] Universidad de los Andes (Mérida – Venezuela). (www.ula.ve) Febrero de 2000.
- [22] I. Soret de los Santos, *Logística Comercial y Empresarial*. ESIC, Madrid. 1997.
- [23] G. Urrutia and E. Soler, Estrategias de Producción y Mantenimiento para la Generación de Ventaja Competitiva en la Cadena Agroindustrial de Lácteos de la Sabana de Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2003.
- [24] A. Velásquez, “Logística: Una Aproximación a su Lógica”.. *Revista Escuela de Administración de Negocios*. No. 36, Enero-Mayo de 1999. p.43.
- [25] A. Velásquez, “Análisis del Sistema Logístico en el Sector Farmacéutico Un Enfoque Operativo” *Revista Escuela de Administración de Negocios*. No. 41, Septiembre-Diciembre de 2000. p.66
- [26] Y. Montaña Ribeiro, Subdirectora Sector Servicio del IAC. Instituto Colombiano de Codificación y automatización comercial.

Modelo de Simulación de Proceso de Embarque de Cajas de Merluzas de Exportación

Torres Cepeda, Juan Pablo
juanchotorres@gmail.com
Universidad de Santiago de Chile

Resumen.- Este artículo presenta un modelo que permite simular el proceso de exportación de merluza en Chile. El modelo fue construido utilizando Dinámica de Sistemas y programado en Powersim®. El modelo integra diversos componentes del proceso de exportación, tales como: almacenamiento, utilidades, envíos de cajas desde pesqueras a Santiago y desde Santiago Madrid, espacios de mantención y costos por multas. Se puede concluir que al disminuir la incertidumbre en la hora de llegada de los camiones que vienen desde las pesqueras y mejorar los canales de información aumentan considerablemente las utilidades de la empresa.

Palabras Clave - Embarques Aéreos, Sistemas y Dinámica de Sistemas.

I. INTRODUCCIÓN

A. *Discusión*

La apertura que ha tenido Chile en estos últimos años, producto a la suscripción de tratados de libre comercio con distintos países del mundo, entre los que destacan: Estados Unidos (Fecha de Firma: 6 de junio de 2003 | Entrada en Vigor: 1o. de enero de 2004), Corea (Fecha de Firma: 15 de febrero de 2003 | Entrada en Vigor: 1o. de abril de 2004), Unión Europea (Fecha de Firma: 18 de noviembre de 2002), México (Fecha de Firma: 1o. de octubre de 1998 | Entrada en Vigor: 1o de agosto de 1999) y Canadá (Fecha de Firma: 5 de diciembre de 1996 | Entrada en vigor: 5 de julio de 1997)¹.

¹ Organización de los Estados Americanos (OEA) (2005). Sistema de Información sobre Comercio Exterior (SICE). <http://www.sice.oas.org/trades.asp#Chicor>
1889 F Street N.W., SICE Suite 100-B
Washington, D.C. 20006-4499 - USA

Ha traído consigo grandes inquietudes respecto al futuro que tienen nuestras exportaciones como país latinoamericano. Chile es un país netamente exportador de recursos naturales, entre los que se destaca los minerales, forestales y pesqueros.

Las exportaciones por pesca extractiva significaron para Chile US\$ 30.8 millones el año 2004². Según el Gerente General de Fish Tour S.A. Don Ignacio Torres “Se espera que cuando entren absolutamente en vigencia los tratados de libre comercio con los países asiáticos aumente las exportaciones en cifras no menores al 60% a mediano plazo, por esto, es fundamental buscar nuevos mercados tomando en cuenta las limitaciones de este recurso natural”³.

En Chile la temporada extractiva de la merluza comienza el 1 de septiembre y finaliza el 31 de agosto del año siguiente, siendo el mes de agosto periodo de veda, es decir, periodo en el que se prohíbe extraer del mar el recurso

Los procesos de exportación pesqueros son fenómenos sociales complejos, debido a que la mayoría de las decisiones son realizadas en breves conversaciones, donde cada minuto que pasa puede ser ganar un cliente o lo que es peor, perder a uno. Por esta razón, se ha supuesto que en las organizaciones existen estructuras de pedidos y

² Base de Datos Estadísticos. Banco Central de Chile (2005). http://si2.bcentral.cl/Basededatoseconomicos/951_417.asp?m=BP_102&f=A&i=E

³ Conversación con Ignacio Torres Maureira. Gerente Fish Tour S.A.

ofertas que generan eventos sobre distintos procesos. Por ejemplo, para que existan procesos de materiales y de información deben existir esta estructura entre las personas, dicho de otro modo, nadie mueve un informe de un lugar a otro sin que antes exista una promesa entre seres humanos. Por lo tanto, una precondition para que exista una organización es que esta estructura de pedido/oferta ya exista.

Por ese motivo se ha estudiado en el trabajo el conjunto de peticiones que se generan en esta organización, utilizando los mapas conversacionales

En el abstract "The action Workflow approach to workflow management technology"^[1] explican que los Mapas Conversacionales son representaciones de las conversaciones que se generan ente los participantes del flujo de trabajo, estas conversaciones son iniciadas por pedidos u ofertas, y si son aceptadas, causan promesas que generan las acciones que las tratan de cumplir.

En la investigación se han estudiado todas las conversaciones internas de la empresa Fish Tour S.A, en las diferentes etapas descritas, que han permitido obtener los flujos de información necesarios para estudiar y analizar los quiebres en los canales de información que detonaban una repetitividad de acciones causantes, entre otras cosas, de mayores costos para la empresa, por ejemplo, deficiencias en la comunicación con las pesqueras detonaban una serie de llamadas paralelas que transmitían la misma información para los diferentes niveles jerárquicos de la empresa.

Una vez entendida la estructura de pedido y oferta, se elaboró el diagrama de influencia, permitiendo así, reconocer los ciclos de retroalimentación. Cabe señalar que uno de los ciclos de retroalimentación negativos fundamentales en todo el proceso, no tenía naturaleza en los procedimientos formales establecidos para controlar el envío, sino que estaban en la capacidad del operario para negociar con las empresas que

intervienen en el proceso, como líneas aéreas, TEISA y pesqueras.

Para elaborar el análisis de Dinámica de Sistema se han ocupado los pasos descritos en el abstract "Building a systems dynamics model. Building a System Dynamics Model Part 1: Conceptualization" de Albin^[2] S (1997). En el que se describe 4 etapas, Conceptualización, Formulación, Análisis y evaluación y Resultados. Para poder realizar la formulación se ha utilizado los diagramas de Flujo o Bloques descritos en el abstract "System Blocks: A Physical Interface for System Dynamics Learning" de Oren Zuckerman y Mitchel Resnick^[3] En este abstract se explica los tipos de variables, el comportamiento y la representación grafica que se ocupa para construir los Diagramas de Forrester^[4]. por ejemplo, las variables de estado son aquellas que describen el comportamiento del sistema, se representan por un bloque y se comporta como una variación de flujos en el tiempo, se representa como una ecuación diferencial de primer orden.

Para poder evaluar el modelo de simulación de la empresa Fish Tour y los escenarios posibles a enfrentar se utilizó el software Powersim® Constructor 2.51 (4009) Academia^[5], que ha permitido simular el comportamiento con los datos suministrados por la empresa.

II. ESPECIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Fish Tour S.A. es una agencia de carga que envía merluza fresca de exportación a Madrid, la merluza es extraída desde el sur de Chile (X y XI regiones) a través de pesca artesanal e industrial. Una vez extraída la merluza es transportada por camiones por dos vías: Vía territorio chileno y vía territorio argentino. Estos camiones desembarcan en los terminales de Carga Aérea de Santiago de Chile, Terminal TEISA de Aeropuerto Comodoro Arturo Benítez y de Buenos Aires, Argentina, Terminal de Carga Aéreo Aeropuerto Ezeiza. El proceso de embarque es similar en ambos Terminales, en los cuales se recepciona la carga y se ordena de acuerdo

a los requerimientos de la línea aérea, estos requerimientos son dados por el medio de Transporte que se va a utilizar para cargar los aviones, por ejemplo paletas o contenedores. Mientras se cargan los aviones se realizan los trámites de embarque. Concluida esta etapa se envía a Madrid. La recepción en la capital española es realizada por agentes de Fish Tour, que trasladan por camión las cargas hasta Merca Madrid, mercado, donde espera el cliente para recibir el envío.

El principal problema de la Empresa, radica en la incertidumbre que se tiene de la llegada de los camiones al Terminal Aéreo, tanto chileno como argentino, lo que produce innumerables retrasos que repercuten en los procesos que se desarrollan posteriormente, sumado a esto, los quiebres en los canales de información que no permiten una fluidez en el proceso de envío de la merluza a Madrid. También se debe considerar que la captura posterior a los periodos de veda aumenta por encima del promedio mensual, exigiendo a la empresa a responder frente a mayores volúmenes de exportación.

III. METODOLOGÍA

Para realizar la investigación se ha empleado el método de Dinámica de Sistemas, esta metodología ha permitido realizar un modelo de simulación del proceso de embarques que realizó Fish Tour S.A. durante el periodo de Agosto de 2003 a septiembre de 2004. No obstante, la complejidad del proceso de exportación ha hecho que se estudie por separado los flujos de información de los flujos de materiales.

Los flujos de información o conversaciones han de ser modeladas mediante Mapas Conversacionales (Workflow) y según este enfoque el ciclo conversacional consta de cuatro etapas: preparación, negociación, ejecución y satisfacción. La etapa de preparación se inicia cuando el cliente o el realizador tienen alguna inquietud y necesitan de la otra parte para poder realizarla o satisfacerla. En la

etapa de negociación el cliente y el realizador establecen las condiciones de satisfacción para que se realice la promesa. En la etapa de realización, el realizador ejecuta lo que se comprometió a realizar en la etapa de negociación. La etapa de satisfacción concluye el ciclo conversacional, en esta el cliente efectúa una evaluación de lo realizado y emite su satisfacción.

Una vez efectuada la confección y validación del mapa conversacional con todos los miembros de la organización, se procede a confeccionar el diagrama de influencia que incluirá las influencias detectadas en el análisis de los flujos de información. Cabe destacar que ambos enfoques permiten entender y conceptualizar el sistema. Seguido a esto, se ha de formular el modelo de simulación con los diagramas de Forrester, que ha de ser validado con el método de análisis de expertos y finalmente se evalúa la situación presente de la empresa con la situación futura después de este reestudio en las conversaciones y las hipótesis de disminución de incertidumbre por un agente informático que permita realizar un control de posicionamiento global.

A. *Conceptualización*

Para obtener los datos fue necesario una investigación cualitativa, es decir, formulación de preguntas a pocas personas conocedoras del tema, sobre valores de exportaciones, costos e ingresos. Y una vez recopilado y analizada la información se prosiguió a confeccionar el Mapa Conversacional.

1) *Mapas Conversacionales.*

Mediante los mapas conversacionales podemos realizar análisis de quiebres en los flujos de información, rediseños estructurales y detección de influencias que afectan directamente al sistema. En la figura 1 se muestra el diagrama conversacional de la empresa Fish Tour S.A.

En el mapa se destaca que en la conversación principal (MAIN) se tratan los temas referidos al Manejo y embarque de pescado a Madrid y lo efectúa el encargado de Fish Tour que realiza la conexión vía telefónica y el encargado de la pesquera a cargo del envío logístico de los cargamentos. Para que se pueda realizar de manera efectiva se destacan dos conversaciones principales. La efectuada por el gerente general de Fish Tour y el cliente español, esta consiste en informar sobre la disponibilidad de carga que serán enviados dos días después. Y por otro lado la conversación que se efectúa entre el encargado de gestionar el vuelo que llevará la carga a España con el Encargado del despacho de los camiones.

En las conversaciones anteriores se realizan decisiones que permiten el funcionamiento continuo del proceso. Y explicitan una retroalimentación de información entre el gerente y su operario, pues, para realizar la distribución de envíos es importante saber qué y cuánto es lo que realmente requiere el importador español. En ocasiones, este es una razón de porque se envía un tipo de pescado y otro se deja almacenando. Como los contratos con las líneas aéreas son limitados se deben establecer criterios de prioridad en los embarques.

2) Diagramas de Influencia.

Mediante el diagrama de influencia se aprecia la complejidad que tiene el proceso de embarque de merluza de exportación. En la figura 2 se muestra el diagrama principal del sistema.

e destaca que el envío de cajas a Madrid depende del requerimiento que necesite el importador español, la disponibilidad en las líneas aéreas y las condiciones factibles que permitan un envío a tiempo.

La coordinación con las pesqueras y líneas aéreas es fundamental para poder enviar justo a tiempo las cajas al cliente español cuando este requiera, por esta razón un incumplimiento de parte de alguno de

estos dos colaboradores puede ocasionar un retraso en el embarque que desencadena una baja en el precio y puede producir un descontento en el cliente español que a la postre puede implicar una baja en las ventas producto que compre a los competidores.

B. Formulación

La formulación se dividió en dos etapas, la primera caracterizada por el análisis estricto en los procesos de embarque y la segunda por la consideración de las conversaciones que intervenían en el proceso. En la *figura 3* se presenta el modelo construido con dinámica de sistemas. El modelo permite estimar el comportamiento de flujos de cajas de cada pesquera en cada almacenamiento, las utilidades y los costos variables por multas. Como hipótesis de simplificación se han despreciado los costos variables concerniente a operaciones cotidianas.

1) Definición de Variables

El modelo presenta más de 200 variables y 10 parámetros, contemplando desde el inicio al fin de temporada de extracción de la merluza analizada por día de embarque, tipo de almacenamiento por el cual pasó y pesquera de origen hasta fin. Cabe señalar que este registro se estimó con datos suministrados por operarios de Fish Tour.

Sean:

La variable tiempo ha sido cuantificada como una variable discreta. Donde:

$t = \{1, 2, 3, \dots, 365\}$ (tiempo de simulación)

A. Variables de Estado.

Las variables de estado son aquellas que caracterizan el comportamiento de los flujos de cajas exportadas por la empresa Fish Tour. En el modelo algunas de las variables de Estado son:

Número de Cajas Almacenadas, Utilidades de la empresa y costos por multas.

1) *Número de Cajas almacenadas ($X_i(t)$):* Número de cajas almacenadas en bodega i : {3° grados, bodega -10°} en un instante t durante septiembre de 2003 a agosto de 2004.

2) *Utilidades Fish Tour ($CM(t)$):* Cantidad de unidades monetarias que se pagan por concepto de multas por incumplimiento de condiciones de exportación, durante septiembre de 2003 a agosto de 2004.

B. Variables de Flujo.

Las variables de Flujo determinan el comportamiento de las variables de nivel. En el modelo algunas variables de flujo son: Número de cajas descargadas, número de cajas trasladadas a bodega 3° grados y número de cajas que llegan al avión.

1) *Número de Cajas descargadas del camión ($C_i(t)$):* Número de cajas descargadas con origen de la pesquera i , con $i = \{$ Pesquera FS (1), Pesquera PC (2), Pesquera CH (3), Pesquera SM (4), Pesquera FD (5) y Pesquera ASF (6) $\}$, durante septiembre de 2003 a agosto de 2004.

2) *Número de Cajas castigadas (Cd_i):* Número de cajas descargadas con origen de la pesquera i que fueron castigadas, con $i = \{1, 2, 3, 4, 5$ y $6\}$, durante septiembre de 2003 a agosto de 2004.

C. Variables Exógenas y Endógenas

Las variables exógenas más significativas que se han evaluado en el modelo son: Error de traslado gruas y incertidumbre del descargo de cajas.

Entre las principales variables endógenas que han permitido comprender el modelo son: Influencias en

el traslado a TEISA, retrasos de envío a avión desde bodegas y costos variables diarios por línea aérea.

D. Parámetros.

Algunos parámetros del modelo son: Tasas de entrada a cada almacenamiento, valor de multa unitaria y Probabilidad de problemas en descarga.

1) $Ta_{i j}(t)$: Tasa de entrada a almacenamiento j de cajas de pesquera i , con $j = \{$ Almacenamiento -10°C (1) y Almacenamiento 3°C (2) $\}$ e $i = \{$ Pesquera FS (1), Pesquera PC (2), Pesquera CH (3), Pesquera SM (4), Pesquera FD (5) y Pesquera ASF (6) $\}$, durante septiembre de 2003 a agosto de 2004.

2) $Id(t)$: Probabilidad de problemas generados en la descarga en Terminal de carga aéreo durante septiembre de 2003 a agosto de 2004.

3) $\Gamma\alpha$: Retraso producido por la permanencia de cajas en almacenamiento.

4) Tm : Valor de multa unitaria por kilogramos durante septiembre de 2003 a agosto de 2004.

5) $\Gamma\gamma$: Retraso de información de cobro de multa por carga castigada.

En la sección ecuaciones se enuncian las principales ecuaciones del sistema. La ecuación 1 presenta el comportamiento de los almacenamientos y la ecuación 2 presenta el comportamiento de las utilidades de la empresa.

2) Programación.

La programación del modelo se ha realizado con el software Powersim®, el método de integración usado fue Euler y el paso de tiempo es de un día. El periodo de simulación fue desde el 1 de septiembre de 2003 a 31 de agosto de 2004.

C. Validación

Para evaluar el modelo construido se ha utilizado el método de análisis de expertos, este constó de una presentación de los datos al Gerente General Don Ignacio Torres, el Jefe de Operaciones Don Carlos Tobar y el Jefe de Finanzas Don Hernán Vidal.

D. Evaluación

La evaluación del modelo estuvo marcada por el análisis de las conversaciones. Los Mapas Conversacionales han aportado relaciones claves para el entendimiento y solución del problema del sistema. La solución ha partido de la base de hacer un análisis de quiebres y rediseños en las conversaciones, en el que se ha estructurado un problema típico de envío de paquetes con algunas variables dadas por la participación de las personas. Y para disminuir la incertidumbre en la llegada de los camiones se ha evaluado los costos de una política de asociación con las compañías de camiones (que transportan el pescado desde las pesqueras), para implementar un sistema de GPS (Global Position Systems) para los camiones.

1) Evaluación Situación presente.

En la tabla 1 se contrastan los datos obtenidos de una de las variables de Estado del modelo con los datos suministrados por la empresa.

2) Análisis de Quiebres.

El análisis de quiebres, corresponde al estudio de los mapas conversacionales, por medio del cuál se descubren las discontinuidades que presenta la ejecución de los procesos.

Adicionalmente se puede determinar si hay pasos superfluos o eliminables producto de un mejor uso de tecnologías. En la figura 4 se presenta uno de los quiebres de la situación presente de la empresa y a continuación se describen los principales.

Quiebre 1: Se produce un quiebre debido a que el gerente de Fish Tour pide a el gerente de la pesquera la información de la carga que ha de ser recibida, información que ya ha pedido el operario de la empresa al encargado de la pesquera pero que no se tiene certeza de su verificación.

Quiebre 2: La conversación del operario de Sernapesca⁴ con el operario de Fish Tour en donde se solicita la información de los embarque diarios para ser fiscalizados, es un quiebre, debido a que esa información debería tenerla automáticamente la entidad fiscalizadora al momento de entrar la carga al Terminal de carga aéreo, TEISA.

Quiebre 3: Cuando el operario pide repetidas veces la posición del camión en el camino produce una discontinuidad, debido a que en la mayoría de los casos los conductores no dan información exacta de su ubicación produciendo así una discontinuidad en el sistema.

En la figura 5 se presenta la nueva estructura conversacional de la empresa. Se debe considerar que este nuevo mapa de las conversaciones fue confeccionado sólo despreciando las conversaciones que transmiten la misma información dos o más veces.

E. Análisis de Sensibilidad

Con la finalidad de probar que tan sensibles eran los datos a las perturbaciones de otros escenarios se han evaluado dos situaciones, uno bajo circunstancias de mucho embarque y otro de bajo nivel de embarque, esto, para evaluar los costos y

⁴ Servicio Nacional de Pesca de Chile.
<http://www.sernapesca.cl/>

los volúmenes de almacenamiento que se debían afrontar en cada escenario.

Se ha observado que bajos volúmenes de exportación implican que los costos fijos diarios no puedan ser cubiertos.

VI. RESULTADOS

Los resultados obtenidos han considerado el análisis de dos escenarios, un escenario base, consistente en la situación presente, y un escenario futuro, en el que se implementa el rediseño de las conversaciones y la puesta en marcha del agente de posicionamiento en los camiones que han de transportar las cajas desde las pesqueras hasta el Terminal de carga.

Escenario Base.

El escenario considera la dinámica de los embarques que han sido efectuados en el periodo de investigación.

Los resultados de los embarques han permitido cuantificar la participación real de cada proveedor en el proceso, esto puede permitir tomar decisiones estratégicas entorno a que pesqueras son fundamentales para la solvencia del proceso y cuales son dispensables.

En la figura 6 se presenta el comportamiento de de los embarques que se realizaron en el periodo estudiado. En la figura se detalla con una línea negra la tendencia cíclica de envíos. Esto se debe a que la actividad pesquera tiene un ciclo bastante definido. Cabe señalar que los embarques al inicio de temporada tienen el tope más alto de envío y por lo tanto de extracción del recurso, este aumento repentino que dura aproximadamente dos meses, repercute en que los próximos dos meses no se extraigan con tanta fuerza el recurso. Lo que se demuestra en la gráfica como un ciclo descendente. Al quinto mes se vuelve un apogeo en la

exportación pero no tan fuerte como la primera pues el recurso se vuelve cada vez más limitado.

Los proveedores de las pesqueras al ser una combinación de pescadores artesanales y pescadores industriales entran en grandes conflictos producto la escasez de la merluza.

Los grandes barcos industriales en ocasiones arrasan con bancos de peses, aun cuando existen ciertas reglas de captura de pescado. La consecuencia de esto es que las pesqueras pequeñas que tienen como principal fuerza laboral a los pescadores artesanales tengan escasa influencia en los últimos meses de la temporada (junio y julio).
Escenario Situación Futura.

En la situación se ha de evaluar un plan de mejoramiento de los canales de información solamente solucionando los quiebre productos de promesas no cumplidas, es decir se ha de suponer que el sistema ha de funcionar perfectamente a los rediseños propuestos. Este es uno de los principales supuestos ya que si no se cumple sería muy difícil cuantificar cuanto tiempo han de necesitar los operarios de Fish Tour en adoptar esta nueva estructura satisfactoriamente.

Además se ha de evaluar conjuntamente a los rediseños la implementación de un sistema de posicionamiento global para las empresas de camiones.

Se ha supuesto que los gastos de inicio del proyecto de controladores satelitales los han de efectuar exclusivamente las empresas de camiones y sólo se ha de cobrar una cuota diaria⁵ a Fish Tour.

La validez de la adopción de este supuesto, se ha efectuado considerando sólo la opinión del jefe de operaciones de cuanto está dispuesto a pagar por este nuevo servicio, y pese, a que son las pesqueras

⁵ Datos suministrados por Agente de Venta de ENTELGPS Chile. El valor es valido sólo para territorio nacional chileno.

las que contratan estos camiones se ha propuesto pagar más por el servicio, ya que esto, permitiría gestionar con mayor eficiencia los embarques.

Para presentar el impacto de este nuevo plan estratégico se muestra la figura 7. En esta figura se expresa de manera gráfica las utilidades generadas en esta nueva situación. Este plan permite aumentar las utilidades a un 24.836%.

V. CONCLUSIONES

En esta investigación se pudo constatar que la influencia de algunos proveedores son fundamentales para el desarrollo normal del proceso.

Cuantificar durante un año todas las cajas exportadas ha permitido, primero tener un registro de las cajas enviadas por cada exportadora que pasaban por cada almacenamiento y segundo, poder entender que muchos costos eran producidos por destinar pocos paquetes. Cabe señalar que la razón fundamental radica en que la mayoría de los costos de esta empresa son fijos y no se ha creado un índice de cajas mínimas que han de ser enviadas antes de eliminar completo las utilidades generadas por el embarque.

Tener un mayor conocimiento del proceso a través de las estructuras conversacionales entrega una visión que permite mejorar los canales de información, que a su vez, mejoran los rendimientos de embarque, lo que se traduce finalmente en mayores beneficios para la empresa.

Realizar investigaciones continuas, en búsqueda de nuevos métodos que optimicen los procesos, dan mayor valor agregado al producto y mejoran la confiabilidad con el cliente.

Evaluar posibles escenarios permite adelantarse a posibles problemas y eso da ventajas estratégicas por sobre la competencia.

El modelo aportó información cuantitativa que ha validado un índice mínimo de envío de cajas creado por la empresa.

Los datos que se han presentado en este paper han sido motivo de discusión y análisis por parte de autoridades de la empresa, en especial de su Gerente General Don Ignacio Torres Maureira. Con la empresa se han formulado conclusiones y acciones que han mejorado el desempeño y relaciones interpersonales al interior de la empresa. Muchas de estas conclusiones al igual que valores de utilidades y gastos operacionales no han sido presentadas por motivos de seguridad interna de la empresa.

VI. ANEXO

1) Figuras y Tablas

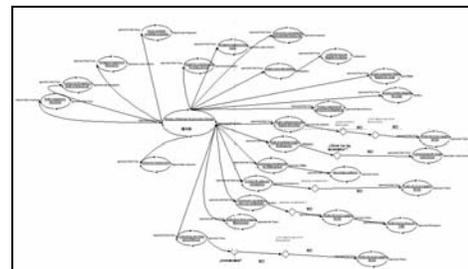


Fig. 1 Mapa Conversacional de Empresa. Evaluado en la situación base.

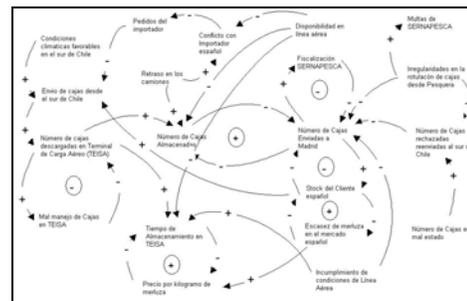


Fig. 2 Diagrama de Influencias

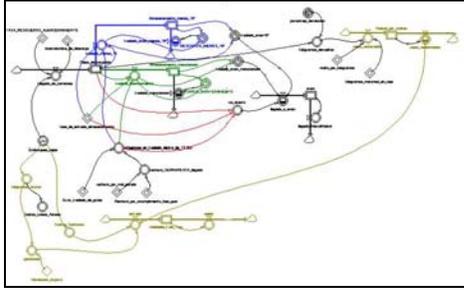


Fig. 3 Diagrama de Forrester. Los colores azul y verde representan los almacenamientos en el Terminal de carga aéreo, el color oliva representa los flujos monetarios del proceso y finalmente el color rojo representa los flujos de cajas que se envían directo a Madrid.



Fig. 4 Mapa Conversacional de la etapa de preparación. Las conversaciones encerradas en un círculo rojo representan el quiebre 1.

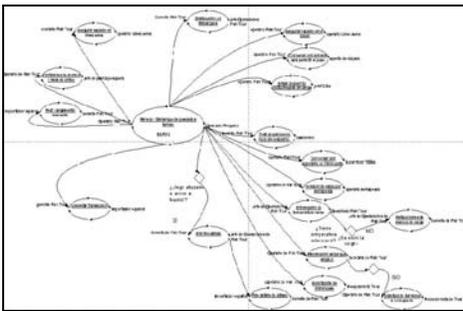


Fig.5. Estructura conversacional rediseñada.

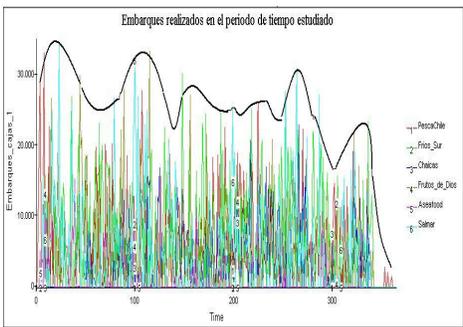


Fig. 6: Grafica unidades embarcadas versus días, evaluadas las 6 pesqueras que participaron en los embarques.

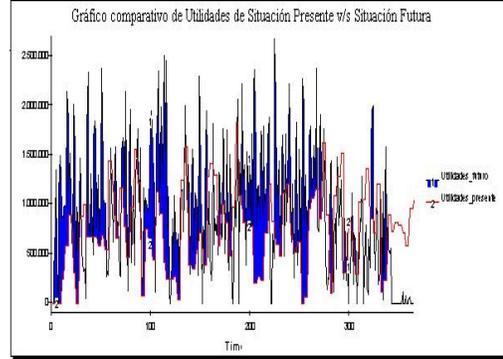


Fig. 7: Gráfico comparativo de utilidades diarias de Situación Presente v/s Situación Futura. El área de color azul expresa las ganancias que se obtendrían con el nuevo escenario.

Tabla I. Valores obtenidos de la simulación para su validación.

Variables de Estado	Situación Real	Resultado del Modelo	Diferencia	% de Error
Cajas Descargadas	14821,5	14673.29	148.21	2 %
Pesquera_1_x/06/0x Almacenamiento – 10°	1505	1229.25	462.24	18%
Pesquera_1_x/06/0x Manutención	2516.5	2934.48	917.98	17%
Pesquera_1_x/06/0x Cajas Enviadas	10800,5	10270.68	529.82	5%

Ecuaciones

Las ecuaciones que rigen el comportamiento de ambos almacenamientos son:

Ecuación (1)

$$\frac{d x_i(t)}{d t} = C_i(t) * (1 - Id(t)) * Tq - C_i(t + \Gamma_\alpha) \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\frac{d CM(t)}{d t} = Cd_i(t) * Tm - Cd_i(t + \Gamma_\beta)$$

AGRADECIMIENTOS

Ignacio Torres Maureira.
Departamento de Operaciones de Fish Tour.
Oscar Vázquez
Juan Cubillos Bravo
Rafael Figueroa Larroque
Doctor Miguel Alfaro Marchant corrector del artículo.
Doctor Mario López.

REFERENCIAS

- [1] R. Medina-Mora, F. Winograd, R. Flores, F. Flores. "The action Workflow approach to workflow management technology". ACM Press New York, NY, USA. 1992
- [2] S. Albin, Building a systems dynamics model. Building a System Dynamics Model Part 1: Conceptualization(D-4597). 1997
<http://sysdyn.clexchange.org/road-maps/rm-toc.html> (vigente 17 de Junio de 2005). Road Maps 8, No. 2.
- [3] O. Zuckerman y M. Resnick , System Blocks: A Physical Interface for System Dynamics Learning. MIT Media Laboratory, USA. 2003.
- [4] J. W. Forrester, Ph. D. Seminar in Systems Dynamics – series of video tapes. Albany, N.Y.: Systems Dynamics Society. 2001.
- [5] Software Powersim Constructor 2.51 (4009) Academia. ©1993-1999 Powersim AS. All rights reserved. P.O. Box 206, N5903,

Isdelstø, Norway. Phone. +4756342400. Fax: +4756342401. Email: orders@powersim.no

C.V.

Profesor del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Santiago de Chile. Ramo Teoría de Control. Programa Ingeniería Civil Industrial. CODELCO división Andina.
Profesor de curso Interpretación de Planos en la especialidad carpintería metálica. INFOCAP.
Desarrollo de un Sistema de Información para empresa de Carga Aérea. Fish Tour S.A. Modelo de Simulación de Proceso de Mecanizado de Piezas en tornos CNC, en empresa metalmeccánica. Promec S.A. utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas. Trabajos de investigación en laboratorio de Gestión de Tecnologías de la Información y Comunicación (GETIC). Universidad de Santiago de Chile a cargo de Phd. José Ismael Soto. Área Tecnologías de la Información y Comunicaciones inalámbricas.
Modelo de Simulación de Procesos de Embarque en empresa de carga aérea utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas.

An investigation of the innovation performance in the capital goods sector in Colombia: using the System Dynamics approach

Mora Luna, Ana María, and Davidsen, Pål I.
amoraluna@gmail.com Pal.Davidsen@geog.uib.no
University of Bergen, Norway

Abstract— the innovation performance of a firm within the capital goods sector in Colombia is addressed using the System Dynamics method. The problem that motivated this study can be stated as the lack of a comprehensive theory that explains both the poor innovation performance of the Colombian industry and its scarce level of the technological capabilities. Although there are a number of attempts to explain the problem, their causal structures are not fully specified and the results of these have not been evaluated with regard to whether they altogether constitute a coherent and consistent theory of the underlying causes explaining the observed dynamics. Robledo's [1] research on the innovation process of the Colombian capital goods industry is examined in detail. Robledo's research is formalized to investigate how well the theory accounts for the phenomena its author set out to explain. We demonstrate that it is not easy to infer the behavior of the system of innovation -make up by industrialists, academics and policy-makers- from the underlying causes claimed by Robledo (1997) to be responsible for the poor innovation performance of the Colombian capital goods industry.

Key words—capabilities, capital goods, innovation, and system dynamics.

I. INTRODUCTION

In the definition of our research theme, we summarize two issues which have been identified in

the Colombian context:

- The evident disadvantage with regard to science and technology (S&T) of the Colombian industry compared to other countries, coupled with the scarce level of technological capabilities necessary to carry out innovation activities [2]-[3]-[4]-[5]-[6]-[7].
- The lack of research which analyzes the above problem from a structural (causal) point of view [8]-[9]-[10]-[11]-[12].

In this paper we address the innovation performance of a firm within the capital goods sector in Colombia using the System Dynamics method. The problem that motivated this study can be stated as the lack of a comprehensive theory that explains both the poor innovation performance of the Colombian industry and its scarce level of the technological capabilities necessary to carry out innovation activities. Although there are a number of attempts to explain the problem, their causal structures are not fully specified and the results of these have not been evaluated with regard to whether they altogether constitute a coherent and consistent theory of the underlying causes explaining the observed dynamics (behavior).

To extend the discussion in the literature about the innovation process in Colombia, we examine an existing theory in detail, formalizing it to investigate how well the theory accounts for the phenomena its author set out to explain. Our focus is Robledo's research on the innovation process of the Colombian capital goods industry, in which Government Institutions (GIs) and Higher Education Institutions (HEIs) play a key role.

Qualitative models might properly represent complex feedback structures; nevertheless, they omit parameters, functional forms, external inputs, and initial conditions needed to fully specify the structure of a system, understand their dynamics, and test the model itself.

Because nonlinearity, delays and feedback are central to the innovation process [13]-[14]-[15]-[16], a causal modeling approach suitable for capturing dynamics is needed.

System dynamics offers the ability to bring a model to life, to see the consequences of structural assumptions, to try out “what-ifs”, and to challenge managerial intuition [17]. As Sterman [18] asserts, formalizing qualitative models and testing them via simulation often leads to radical changes in the way we understand reality. Likewise, Forrester states that verbal statements need to be clarified by translating them into less ambiguous forms and into a form that will allow us to experiment with the implications of the statements already made [19].

It follows that Robledo’s verbal descriptions of causal relationships are formalized in the form of a System Dynamics model. It is expected that this approach will improve our understanding of the accumulation of the capabilities affecting the innovation performance observed at micro and macro level; and, as a result, it will improve decision making and future policy design.

In responding to the challenges posed by the Millennium Development Goals, and the fact that science, technology and innovation underpin every one of these goals, we expect to make a significant contribution to the UN [20] recommendations about the role played by HEIs and GIs in innovation and the role of the industrial firm as a locus of learning.

It is worth mentioning that this research does not deal with the innovation performance of a specific firm, partly because the product development process is usually firm specific, therefore better dealt with at the appropriate level, and because Robledo draws its conclusions from the empirical research he conducted¹. This research emphasizes that the role that industrial firms can play in

innovation and social well-being depends largely on both the internal skills they have at their disposal and the firm’s interaction with HEIs and GIs.

In addition, the data given by Robledo is not a sufficiently complete basis for translating his research findings into a system dynamics model. Thus, we draw on theory and have searched for other types of data to fill in the gaps between the statements he makes and the structural relationships.

II. DESCRIBING THE INNOVATION PROCESS

A. *Main results of Robledo’s research*

First of all, we present briefly the concept of paradigm adopted by Robledo. In his study, Robledo supports the hypothesis that technological innovation and institutional change are interdependent; and he asserts that a paradigm is a particular kind of institution which, as said by Johnson [21], is a set of habits, routines, rules, norms and laws, regulating the relations between people, and shaping human interaction. Moreover, paradigms act pervasively at the level of the awareness and decision making functions in organizations, strongly affecting the development of the innovation process in firms and the accumulation of innovation capabilities in the whole industrial innovation system [1].

There are visible expressions of the cumulative effect of the dominant innovation paradigm present in the Colombian capital goods innovation system; as is described by Robledo:

“The Colombian capital goods innovation system:

1. Has disregarded innovation as a valid development alternative;
2. Has internalized conceptions which are akin to traditional economics, characterized by identifying ‘knowledge’ with ‘information’, by reducing the benefits of R&D to their direct results, and by assuming that innovations can easily be adopted, provided that the respective ‘best practices’ are introduced;
3. Has failed to accumulate research capabilities for innovation, by focusing almost exclusively on accumulating imitation capabilities for production;
4. Has created barriers to collaboration which hinder the establishment of innovation networks among users, producers, and research organizations.”

¹ Robledo conducted an empirical research based on data from a representative sample of firms in the Colombian capital goods industry.

The manifestation of the paradigm through such particular elements has created an intricate problem; the little generation and accumulation of innovation capabilities within the system's organizations impedes a shift in the dominant paradigm, thus the inability to develop skills is reinforced all over again.

Besides the identification of effect that the paradigm exerts on the innovation system, Robledo investigated the facts determining the paradigm formation as well as the role that HEIs and government institutions might play in the process of paradigm shift. Notwithstanding the importance of these latter issues in explaining Robledo's research purpose and in the conclusions he attained, we will emphasize on the effect that the paradigm exerts on the development of the innovation process and the development of innovative capabilities within firms. As the Oslo Manual [22] and the Millennium Project [20] explain, and to be consistent with Dosi et al [23] and Nelson and Winter [24] cited by Alcorta and Peres [9] we consider important to focus our analysis on the firm because:

"Within organizations, however, firms play a central role in the NSI [National System of Innovation]. It is they which are responsible for innovating. They must develop the competencies in product design and production, in overall management and assessment of consumer needs and in linking to upstream and downstream suppliers and distributors. It is they that must search, develop R&D 'routines' and further engage in the learning processes for innovation."

As far as the role of HEIs and government institutions is concerned, our analysis addresses the influence exerted by the interaction between the firm and these agents on the rate and direction of development of innovative capabilities within the whole innovation system.

B. Translation into the SD approach

We present Robledo's findings by putting them into categories relevant for the formal modeling. This procedure is based on the method followed by Sastry [25].

We identified statements describing constructs (variables), collecting into categories those that appeared to refer to the same construct, and analyzed statements describing relationships

between constructs.

Table I and table II present two variables out of the set variables identified as the guide posts for constructing the causal framework of the model. The construct refers to the identified variable, necessary to be tracked. The definition is an explanation of the construct as it is set out by Robledo. In the structure / relationship, a description of how one variable influence another is given. Dynamic behavior sets the pattern of evolution of the variables over time. It is worth mentioning that there are neither clear relationships nor patterns for all the variables that we included in the model.

TABLE I
 DESCRIPTION OF THE GIS' POLICY-MAKING CAPABILITY

Category	Example
<i>Construct</i>	GIS' Policy-Making Capability
<i>Definition</i>	"Government institutions should accumulate capabilities for efficient policy making"
<i>Structure / Relationship</i>	"efficient and effective policies are likely to emerge only from a very well informed policy-making process, which in turn requires continuous support from the HEIs in the form of provision of advanced knowledge and skills"... "firms have also failed to recognize the relevance of innovation, which has preventing them from interacting with the government in such a way that policies are questioned and a learning process takes place within the government itself"
<i>Dynamic Behavior</i>	"lacking adequate policy-making capabilities, the Colombian government has never considered the accumulation of innovation capabilities a requirement of industrialization which deserves to be addressed by public policies"

TABLE II
 DESCRIPTION OF THE FIRM'S INNOVATION CAPABILITY

Category	Example
<i>Construct</i>	Firm's innovation capability
<i>Definition</i>	"needed to develop more advanced and complex product and processes"...if some kind of technological capability is needed, it is the sort of capability required to adapt and improve the use of the technology employed in the productive process"
<i>Structure / Relationship</i>	"supposedly automatic and costless by-product of the first [production capacity]...Colombian industrial firms did not accumulate innovation capabilities... principally because innovation itself was not perceived as a valid pathway towards industrial development"
<i>Dynamic Behavior</i>	"where firms lack such capabilities...it is impossible for them, or otherwise fruitless, to establish collaborative relationships with academic institutions and other firms"...academic-industrial linkages are weak and fail to produce successful interactions which otherwise would lead to a cumulative development of the learning process"

III. FORMALIZING THE INNOVATION PROCESS

A. The dynamic hypothesis

In dealing with the low level of innovation capabilities accumulated by the Colombian industrial innovation system and hence its poor innovation performance, Robledo [1] argues:

"...the Colombian capital goods innovation system is caught in a complex sequence of vicious circles which inhibits the development and accumulation of innovation capabilities, whose path-defining mechanism is a dominant innovation paradigm which acts forcefully at the level of the awareness and decision making processes, preventing organizations from accumulating innovation-related capabilities."

The formulation of this hypothesis is our second step to assess whether the dynamics that Robledo describes can be produced by the causal factors he postulates as the origin of the problem. The dynamic hypothesis depicted as causal loop diagram is shown in Fig. 1.

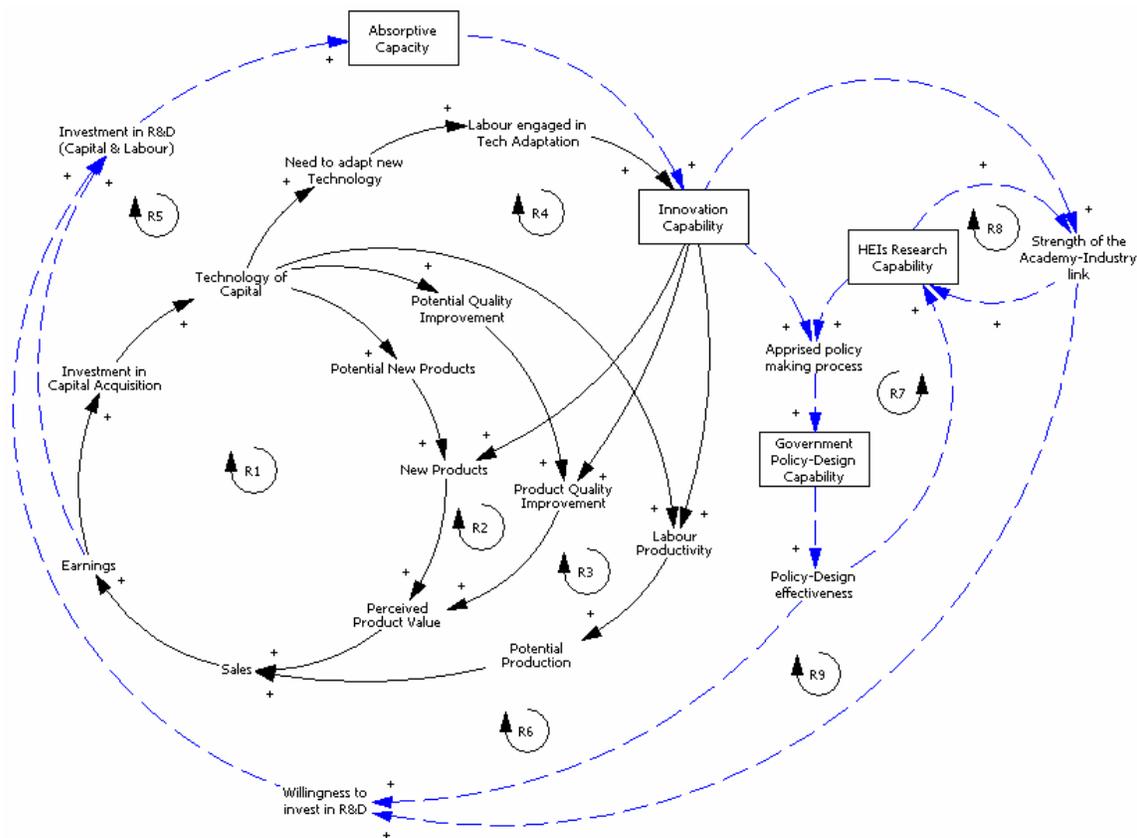


Fig. 1
 The dynamic hypothesis

We assume a firm invests in production capacity for two reasons; 1. to expand its current capacity;

and 2. to replace the capital scrapped. Regardless of the reason, when the firm acquires new capital, the technology embedded in that capital has a higher technology level compared to the one existing in the current stock. As indicated by Robledo, firms within the Colombian capital goods industry see innovation as a by-product and cost-less benefit of their investments in production capacity.

Beginning with loops R1 and R2, new capital with a higher technology level, once it has been adapted to the product development process, gives the firm the possibility to develop new products or to improve the quality of its current products. Thus as more new products or quality improved products are launched into the market, the product value perceived by the customer increases. The higher the perceived product value, the greater are sales and, as a result, the more the earnings will be. The higher the earnings, the more future investments can be made. Thus closing the new product development loop R1 and the product quality improvement loop R2. Besides the effect of the technology level on the product development and quality, the technology embedded in the capital also affects the labour productivity. The higher the labour productivity, the greater is the production capacity of the firm and, as a result, the higher the sales may be. The higher the sales, the more earnings and more investments will be made in production capacity, thus closing the loop R3.

As mentioned before, firms within the Colombian capital good industry believe they can use technology as a mean to innovate. Robledo reports that firms allocate personnel from production oriented functions to the product development process in order to improve the firm's innovation capability, i.e. 1. to build the capability necessary to adapt technology to the production process; and 2. to gain the knowledge required to materialize the potential new products and quality improvements that, in the end, will increase the firm's earnings and hence the investments in production capacity (loop R4). Robledo claims that the innovation capability gained by moving personnel from production to the technology adaptation task is not sufficient to realize 1 and 2 above. Moreover,

production tends to concentrate the attention of the team members to the detriment of product development. Also, the innovation process demands specific skills that are different from those required for production. It follows that direct investments in research and development (R&D) are needed in order to recognize the value of new, external information, assimilate it, and apply it to commercial ends. The greater the resources allocated to R&D, the greater is the knowledge absorption capacity of the firm and the higher its innovation capability. This enables the firm to translate potential innovation into real outcomes, thus closing the loop R5.

Higher Education Institutions (HEIs) and Government Institutions (GIs) significantly influence the firm's willingness to invest in R&D, according to the study done by Robledo. If the firm recognizes the relevance of innovation and invests in R&D in order to accumulate innovative capabilities, then it will be able to interact with the government in such a way that public policies regarding science and technology are questioned, and as a result, the government has the opportunity to improve upon his policy-design task; in other words, a learning process will take place within the government itself. The higher the innovation capability of the firm is, the stronger are the industry-government linkages. This may lead the government to improve its ability to design policies that encourage science and technology activities, thus increasing the firm's willingness to invest in R&D (loop R6). Likewise, the more effective the policy-design process is, the more the research (and training) capabilities accumulate in HEIs. This, in turn, support the policy design process by providing advanced knowledge and skills to the GIs, thus increasing the government policy design capability (loop R7).

Assuming that research and advanced training capabilities are accumulated sufficiently in HEIs, the academic-industrial linkages will be strong and they will succeed in their interactions, leading to a more intensive development of research capabilities at HEIs (R8). Assuming that innovative capabilities are accumulated sufficiently within industrial firms,

and that the academy-industry linkages will be strong so that they succeed in their interactions, then this will encourage the firm to carry out direct investments in R&D (R9).

The dynamic hypothesis help us to understand that if firms fail to recognize the importance of investments in R&D and actually commit to such investments, they fail as well to develop the knowledge and skills needed in order to: 1. innovate; 2. support the government in its science and technology policy design process; and 3. interact with the academia in such a way that the firm will at the same time benefit from the knowledge developed at HEIs, and foster the learning process taking place at HEIs. Moreover, the capabilities accumulated within the HEIs and GIs affect the firm willingness to invest in R&D next time around. This circular set of causalities have been characterized by Robledo as a Gordian knot involving several reinforcing loops (denoted by the dash lines) that might lead to a pattern of behaviour in the form of virtuous or vicious cycle.

B. The reference mode

In order to contribute to the understanding of the poor innovation performance of the Colombian industry, our main objective is to asses whether the dynamics that Robledo describes can be produced by the causalities, i.e. causal relationships, which he postulates. Thus, as a reference mode we quote the following assertion:

“We suggest that the dynamics of the learning processes in industrial innovation systems may give rise to a virtuous circle of accumulation of capabilities if the right conditions are given. Conversely, if these conditions are not fulfilled, it is more likely that the industrial innovation system is caught in a vicious circle where the accumulation of capabilities stops at a certain level [1].”

Even though Robledo does not give a graphical representation of this reference mode, the phrase “virtuous circle” clearly suggests an exponential growth of capabilities. The phrase “vicious circle where the accumulation of capabilities stops at a certain level” suggests, as stated by Robledo, either a goal seeking or an S-shaped behavior.

C. The model

We formalize the conceptual model described

above by presenting the causalities that constitute the model structure as postulated by Robledo, along with the literature used to complement the formalization when this is required.

The core of the model is the interplay between the firm’s technological infrastructure and the product innovation and development process; these subsystems are highly dependant on the investment decision regarding research and development (R&D) made by firms. In this model the technological infrastructure and the product innovation and development process have been are integrated with generic system dynamics modules representing production and market.

Selected model sectors are reproduced here; the complete model is available from the author.

1) Describing the firm’s technological infrastructure

Innovation involves processes of learning either through experimentation (trial and error) or through improved understanding (theory). Some, but not all, of this learning is firm specific [26]. Such learning processes form the cumulatively augmented abilities and skills developed within the firm or, to be consistent with the literature on innovation, such learning processes form the innovative technological capabilities of the firm. These capabilities cannot be bought and sold; it does not imply that such skills are entirely immobile, they just cannot be entirely diffused either in the form of public or proprietary information [27].

In the model, we define a technological infrastructure that comprises both the in-house innovation capability and the marketing capability; these capabilities evolve (respectively) as a result of the firm’s investments in: 1. research and development, and 2. customer relationships. These capabilities determine the firm’s product development, manufacturing process and products’ quality improvement.

In the formulation of the innovation capability we apply the concept of absorptive capacity postulated by Cohen and Levinthal [28]-[29] and frequently cited in the technological change literature. As indicated by Cohen and Levinthal [29], the absorptive capacity is firm-specific and therefore cannot be brought and quickly integrated into the

firm. It is the firm's ability to identify, assimilate, and exploit knowledge from the environment, and represents a sort of learning that differs from learning by doing [28].

The formulation of the firm's stock of technical and scientific knowledge, given by Cohen and Levinthal, is insightful since it establishes that the firm can neither assimilate what is not spilled out by other firms and research organizations nor can it passively assimilate externally available knowledge. The firm must invest in its own research and development (R&D) in order to absorb any of the R&D output of its competitors and the knowledge generated in the government institutions and universities. However, the formulation does not reflect that the knowledge absorbed by the firm from the environment cannot increase indefinitely nor it considers the depletion of the stock. In addition, the formulation does not reflect the learning attribute of the absorptive capacity, which causes the absorptive capacity to accumulate.

In reality, the knowledge gain is constrained by the gap between the firm's own stock of knowledge and the extramural knowledge. The stock of knowledge can decrease by knowledge loss. And, the accumulation of absorptive capacity facilitates

subsequent development of absorptive capacity. We address these drawbacks in the formulation of the firm's stock of technical and scientific knowledge that we use in this paper.

The formulation of the innovation capability depicted as a stock and flow diagram is shown in Fig. 2. The variables shown in italics are determined in other sector of the model. Capabilities are stocks; they can either be accumulated or depleted over time. The innovation capability represents the stock of knowledge defined by Cohen and Levinthal [28] and comprises the technological capacity necessary in the capital goods industry. There are three mechanisms used to accelerate the development of the innovation capability: The absorptive capacity, the R&D effort and the technology adaptation effort. In order to account for the learning and loss processes, both the inflow and the outflow of the capability depend on the current level of the capability itself. This formulation is consistent with the formulation of capabilities proposed by Warren [30].

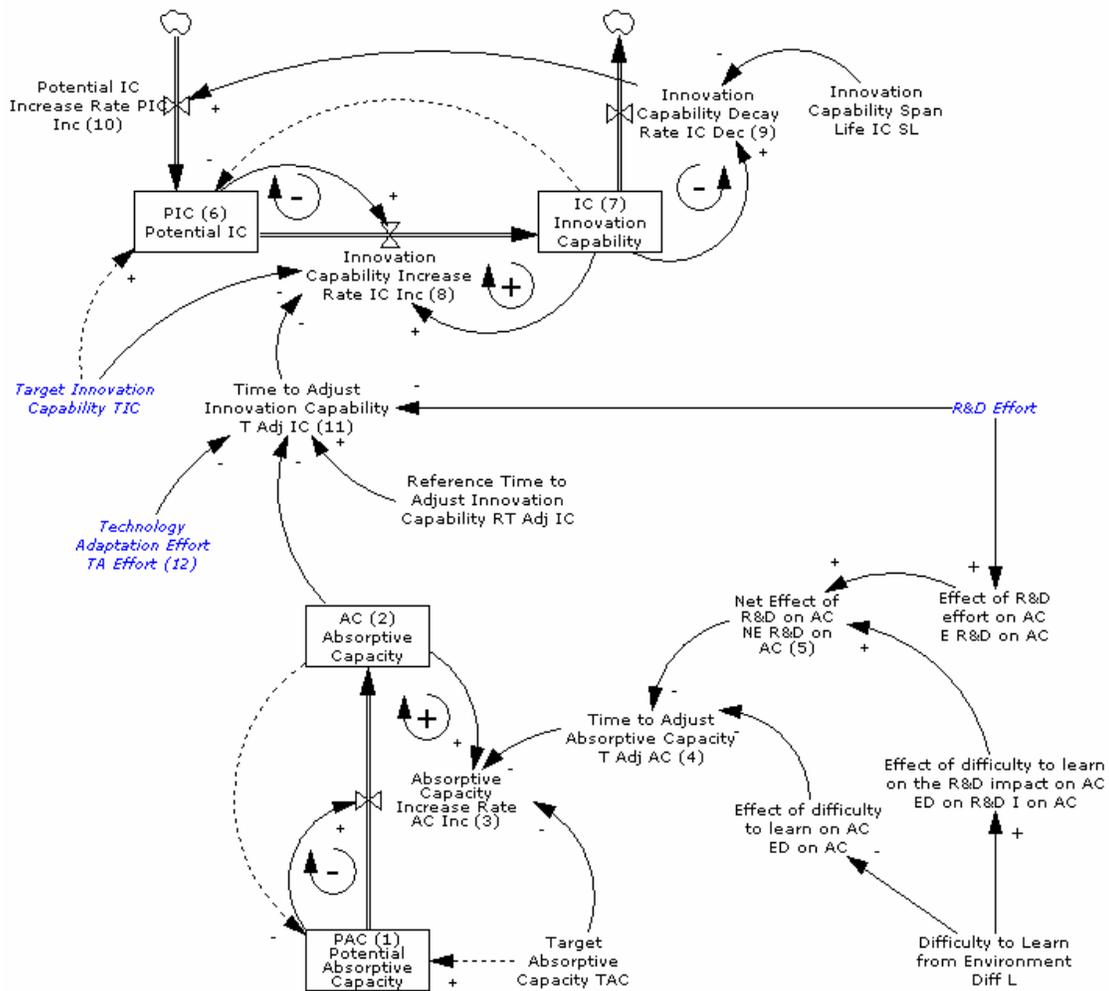


Fig. 2
 The innovation capability

The other capability included in the technological infrastructure module is the marketing capability which accounts for the firm’s ability to establish links with the customer. It is worth mentioning that in the capital goods industry customers can play a key role in invention and early innovation.

The formulation of the marketing capability depicted as a stock and flow diagram is shown in Fig. 3. The firm’s marketing capability is a function of the capability itself, a target marketing capability and the firm’s own marketing research endeavor which is assessed by the ratio between the marketing research expenditure and the revenue. The marketing research expenditure is one of the items in a firm’s marketing budget and its aim is to yield information that allows the firm to identify

and define market driven opportunities and problems. The marketing expenditure comprises the advertising expenditure, the marketing expenditure and the investments made to create customer relationships, as it is suggested by Dutta, Narasimhan and Rajiv [31].

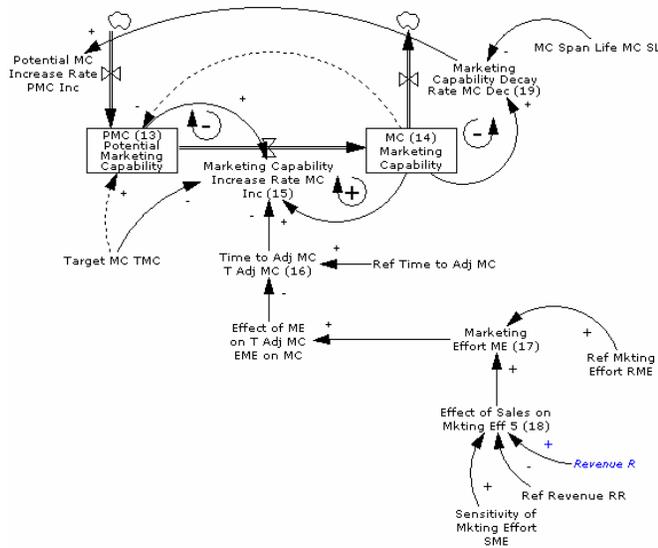


Fig. 3
The marketing capability

2) Describing the innovation and development process

We want to call attention to three assumptions we made regarding the concept of technological innovation: 1. process innovation is excluded; 2. product innovation refers to the development of new products to the firm, which might not be new to the market; and 3. product innovation is possible thanks to the development of the firm’s capabilities. In addition, the matching process between the supply and demand of innovations is indirectly addressed by means of the marketing capability which allows the firm to screen customer needs and translate them into the product innovation and development process.

The capital goods sector is characterized by a wide range of products of varying degrees of technological complexity (in terms of design intensity). Although the innovation process is firm specific, we may draw a general picture of this

process. We adopt the conceptual innovation and development process described by Gaynor [32].

This conception of the innovation process is reported on both Robledo’s analysis of the innovation underperformance of the Colombian capital goods industry and on the study cases undertaken by Vargas, Malaver and Zerda [11] regarding the Colombian metal-mechanical industry which is a sub-sector of the capital goods industry. In addition, these researches regard innovation as learning processes that involve several agents whose decisions interplay to affect the industry performance.

Since we aim to analyzing the interplay between the technological infrastructure described earlier and the product innovation and development process, the conceptual process postulated by [32] is reduced to the formalized structure of stocks and flows shown in Fig. 4 along with the variable name abbreviations and their equation numbers. New potential products accumulate in a stock of potential product innovations. As the feasibility of potential innovations is being evaluated, the product’s design development starts. After designs have been completed and reviewed, prototyping starts. Once prototypes have been successfully tested, products flow to the designs ready for production. Products accumulate in this stock until products are launched into de market place. After the market release, the stock of designs in production increases. Finally when the products reach the end of their life cycle, they are scrapped, thus decreasing the stock of designs in production.

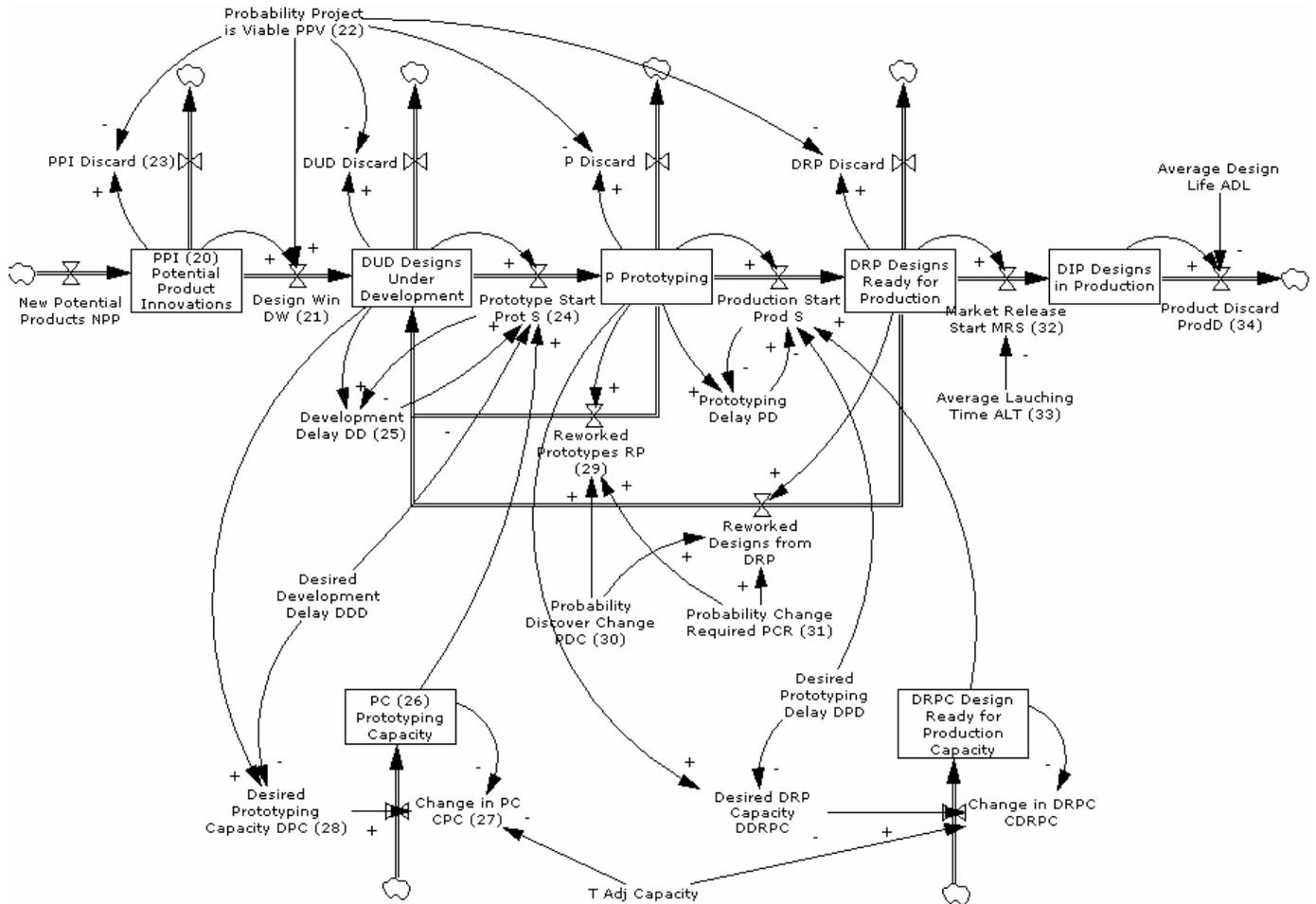


Fig. 4
 Product innovation and development process

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. Model validation

A model is a simplification of the real system; thus, the model validity is the usefulness with respect to some purpose [19]-[33]-[34]. The validation process was done following Barlas' [35] guidelines for model validation. It is worth mentioning that the research done by Robledo [1] does not provide enough data to make a quantitative assessment of the model ability to reproduce the behavior of the real system. Hence, the model validation is focused on testing the structure consistency of the model. We believe this is valid since the ultimate objective is to increase understanding of the underlying causes responsible for the poor innovation performance of the

Colombian capital goods industry.

The structure of the model we built reflects the causal relationships asserted by Robledo as governing the firm's innovation process and the bearing that higher education institutions (HEIs) and government institutions (GIs) have on the accumulation of capabilities at the firm level. Furthermore, when the evidence offered by Robledo was not enough to formalize causality, the equations were built so as to conform to the general knowledge in the literature.

The model parameters have real world counterparts; they are conceptually and numerically valid. Most parameters were estimated using the qualitative description done by Robledo or the literature and surveys related to our research field. Table functions and some parameters values were assumed but checked for plausibility.

The model is robust when subject to extreme shocks and parameters. For instance, zero innovation capability should indicate very few designs in production. This was taken in account during the modeling process; however, we used the Reality Check feature of the Vensim software to test that the model behaves expectedly [36]. Not all but some variables were chosen to extreme values.

We consider the model as suitable to investigate how well Robledo's theory accounts for the behavior he sets out to explain.

B. Model Results

Before analyzing the model's replication of the reference mode, we consider important to examine what does the expression "vicious circle" (opposed to "virtuous circle") generally describe. Richardson [37] points out that:

"The term [vicious circle] actually had its origins in formal logic. Starting from the notion of flawed, circular reasoning, the concept has come to represent an explicitly circular causal process, perceived as characteristically self-perpetuating and self-reinforcing."

One of the central concepts of the system dynamics method is that the system structure is responsible for its behavior. A positive, or self-reinforcing, loop tends to amplify any disturbance and to produce exponential growth [38]. Furthermore, a positive loop can also create self-reinforcing decline².

Regarding the system we are dealing with in this research, Robledo states the following structural relationship: "capabilities are accumulated within industrial firms, higher education institutions (HEIs) and government organizations (GIs) through cumulative development processes which depend critically on the interactions between the actors involved" [1]. This interdependence is clearly explained by Narula [40]:

"...the firm –and its innovative activities– are part of a network of other firms and institutions that make up an SI [System of Innovation], and these, ceteris paribus, help determine the firm's behavior ...this process is a self-reinforcing mechanism, and can lead to lock-in."

Ideally one would expect to observe the capabilities either grow exponentially or decay

exponentially. In other words, the accumulation of capabilities among agents should follow either a virtuous or a vicious cycle. However, as it was quoted early on, Robledo claims that a vicious cycle of accumulation of capabilities is observed when the accumulation stops at a certain level³.

A system that produces the vicious cycle stated above by Robledo is either a negative loop dominated system or a nonlinear system, at least, composed of two feedback loops (one positive and one negative) linked non-linearly. A negative, or goal-seeking, loop tends to move the system towards an equilibrium point or goal [38]. A nonlinear first-order system, for instance, represent a system exhibiting exponential growth at first, but then gradually its growth slows until the system reaches an equilibrium level [18]; there are influences that shift the loop dominance between positive and negative loop processes [37]. This nonlinear first-order system represent a more realistic situation since no real quantity can grow (or decline) forever. There are always constraints that prevent a self-reinforcing process from expanding itself beyond all bounds [37].

The behavior of a nonlinear first-order system is not superior or poor per se. However, with regard to the performance of the Colombian industry, the fact that the accumulation of capabilities has stopped at a certain level seems to have a flawed connotation. The level of technological capabilities has not been sufficient to yield a proper economic development. It is in this sense that the system might be caught in a vicious cycle.

The structure of the model we built takes in account the fact that no quantity can grow without any limit. As a result, the model will exhibit neither a pure self-reinforcing growth nor a pure self-reinforcing decline in the accumulation of capabilities. On the contrary, we expect the capabilities to show an S-shaped growth.

In what follows, we present a set of simulations to examine the model's replication of the reference mode. This set of simulations comprises six scenarios. The parameter values changed across

² This behavior might be produced, as well, by a multi-loop system with dominant positive feedback loops [39].

³ As it will be mentioned in the next sections, Robledo uses indistinctively two verbal expressions to denote the reference behavior of a "vicious circle".

scenarios are summarized in table III. Unlike in the previous section, in these scenarios the firm's willingness to invest in R&D is influenced by the learning taking place both at the GIs and at HEIs. This learning is perceived by the firm by means of the GIs policy-design effectiveness and the strength of the link between HEIs and firms. Likewise, the

'exploitable capability', which represents the stock of technological knowledge accessible to the domestic economy, instead of being constant over the simulation time, it follows a steady growth. We assume that this growth reflects better the advance in knowledge happening in reality.

TABLE III
 PARAMETER VALUES FOR SCENARIOS A1 TO A3 AND B1 TO B3

Parameter	Scenarios					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Initial Firm's Innovation Capability	1,0	1,0	1,0	4,0	4,0	4,0
Initial HEIs' Research Capability	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0
Initial GIs' Policy-Design Capability	2,5	2,5	2,5	6,0	6,0	6,0
Quality Target	7,0	7,0	10,0	7,0	7,0	10,0
Productivity Target	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5
Capital Growth	15 %	15 %	25 %	15 %	15 %	25 %
Difficulty to Learn from the Environment	0,1	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0
Degree of Extra-sector Spillovers	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9

1) Behavior under scenarios A1, A2 and A3

Scenarios A1, A2 and A3, although they differ slightly from each other⁴, represent the case of a new firm operating in a system of innovation with low initial science and technology capabilities. In other words, the GIs have not accumulated enough capabilities to design the science and technology policies necessary either to encourage business enterprises to carry out R&D investments or to encourage research activities at HEIs.

As we explained earlier, the structure governing the accumulation of capabilities at the firm, HEIs and GIs, is basically composed of two feedback loops. The positive loop represents learning as a cumulative process. The negative loop accounts for the limits to growth as the capability level approaches the 'exploitable capability'. We expect to observe that the low initial research capability accumulated at HEIs and the low policy-design capability accumulated at GIs will neither speed up the learning process governing the capabilities development nor will encourage the firm to invest in R&D early on its life span, thus negatively affecting the firm's overall performance.

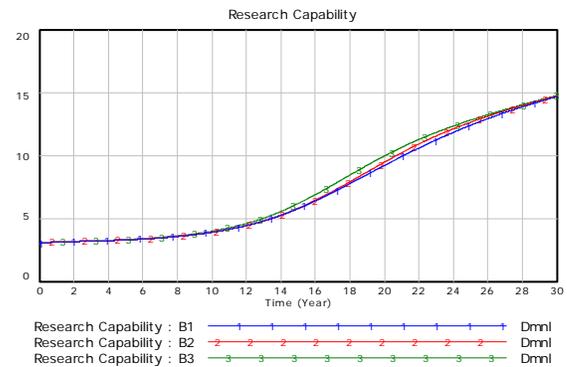


Fig. 5a
 HEIs' research capability under scenarios A1, A2 and A3

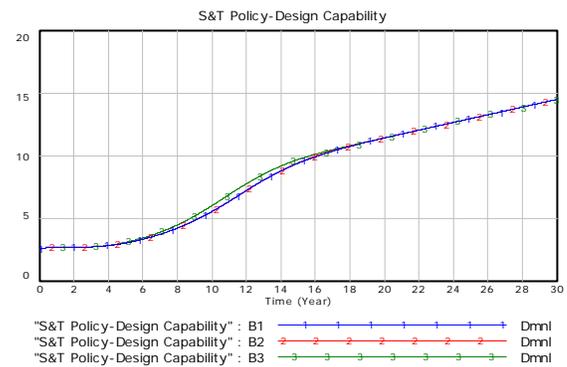


Fig. 5b
 GIs' policy-design capability under scenarios A1, A2 and A3

At first sight, we observe that both HEIs and GIs manage to increase their capabilities (Fig. 5a and 5b respectively); the firm also does. The firm first invests in R&D in year 10 under scenarios A1 and

⁴ We will describe the differences among these scenarios along with the description of the behavior obtained.

A2, and in year 9 under scenario A3. The reason for this late decision is that both HEIs and GIs fail to accumulate sufficient capabilities in order to encourage the firm to invest in R&D early on its life span. Furthermore, the low level of the firm's innovation capability does not speed up either the development of capabilities at the other agents (Fig. 6).

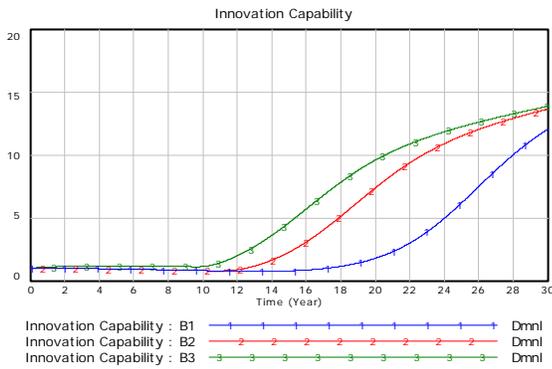


Fig. 6
 Firm's innovation capability under scenarios A1, A2 and A3

In addition to the similarities observed in the overall behavior of the firm's innovation capability under scenarios A1 and A2, there is a lag between the innovation capabilities obtained in each of these two scenarios. The reason explaining this lag is that it is less difficult to learn from the environment under scenario A1 than under scenario A2. We might expect that an environment which eases the firm's accumulation of capabilities will cause the firm's innovation capability to increase soon. Nonetheless, as we explained in chapter 3, the ease with which learning may occur affects the firm's learning in two ways.

First, the greater the difficulty to learn from the environment, the larger is the marginal impact of the firm's own R&D on the firm's absorptive capacity. In other words the firm's own R&D is critical to the maintenance and development of the capacity to absorb new knowledge. This is a positive effect.

Second, the greater the difficulty to learn from the environment, the less knowledge the firm assimilates of the external knowledge for a given R&D effort. This is a negative effect. Under scenario A2, the positive effect counteracts the negative effect of being within an environment that

hinders learning. Hence, the firm's innovation capability develops faster under scenario A2 than under scenario A1 (see Fig. 6).

The difference between the assumptions made under scenario A3 and scenarios A1 and A2 is the higher quality, productivity and capital expansion targets faced by the firm. In addition, the difficulty to learn from the environment is greater under scenario A3 than under scenario A1. As a result, two main issues regarding the model behavior under scenario A3 are worth explaining:

1. Unlike in scenarios A1 and A2, the firm's innovation capability during the first 10 years does not decay. The capability seems to grow at a decreasing rate; even though it is not possible to determine which loop dominates the behavior. Due to the capability gained from the technology adaptation task, before year 10 the firm's innovation capability is higher under scenario A3 than under scenarios A1 and A2. This advantage in the capability under scenario A3 is amplified by the reinforcing loop representing the learning process. It is reasonably logical to observe a faster evolution of the innovation capability under scenario A3 compared to the other two scenarios (see figure 6).

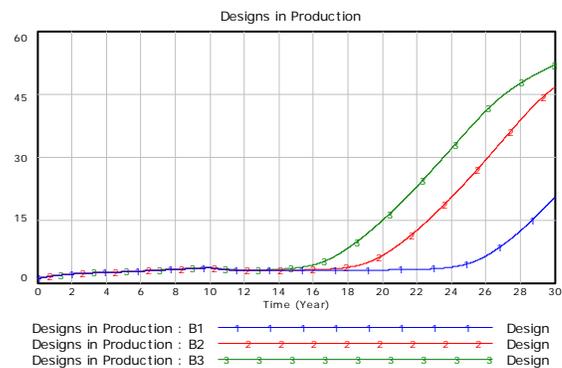


Fig. 7
 Designs in production under scenarios A1, A2 and A3

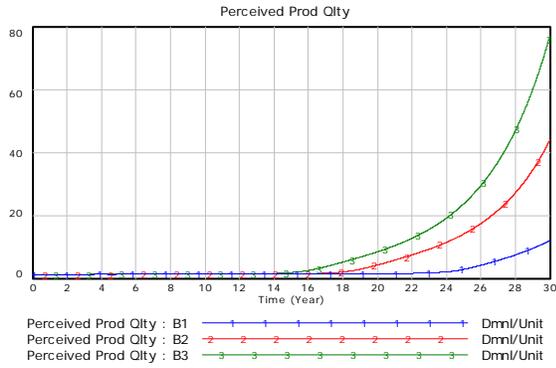


Fig. 8

Perceived product quality under scenarios A1, A2 and A3

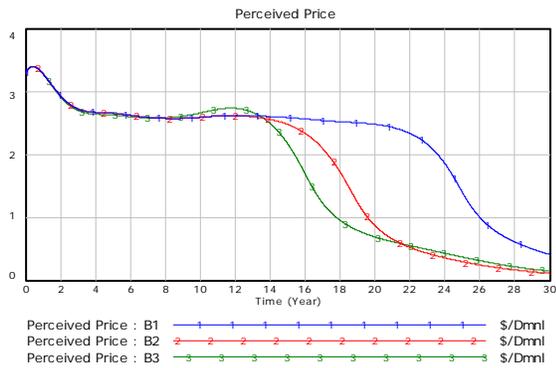


Fig. 9

Perceived product price under scenarios A1, A2 and A3

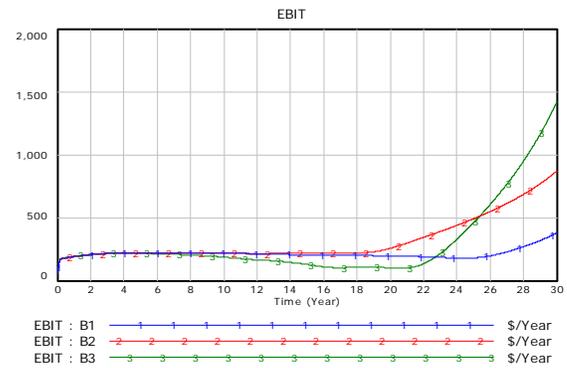


Fig. 10a

Firm's EBIT under scenarios A1, A2 and A3

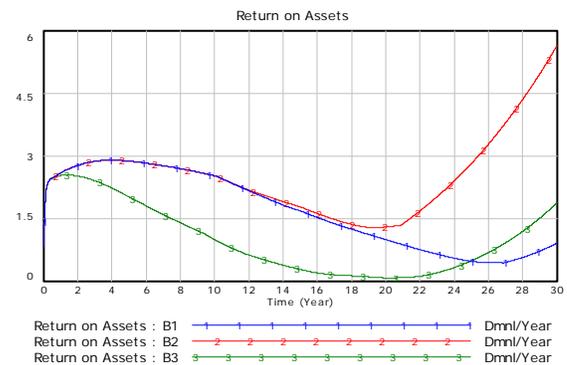


Fig. 10b

Firm's ROA under scenarios A1, A2 and A3

2. The overall firm's behavior, not only in the accumulation of capabilities but also in the designs in production (Fig. 7) and the product quality (Fig. 8), is superior under scenario A3 than under scenarios A1 and A2. However, the firm's economic performance, surprisingly, is worse under scenario A3. Although the firm develops faster its innovation capability, it does not happen as early as the firm needs it to comply with the demanding conditions of the environment. Since under scenario A3, the quality, productivity and growth (capital expansion) targets are high, the firm has high operational costs. The perceived product price, which is given by the ratio between the product price and the product quality, reflects this fact. The perceived product price is generally no lower under scenario A3 than under scenarios A1 and A2 (Fig. 9). Both the EBIT and the ROA also reflect the firm's lower performance (Fig. 10a and 10b).

It follows that a firm that faces high performance standards and operates in a system of innovation with low science and technology capabilities, is at a higher risk to go out of business than if the same firm, embedded in the same environment, has to face less demanding conditions. The sooner the firm is encouraged to invest in R&D the better.

As a final comment, it is worth mentioning that we simulated other scenarios under which the system of innovation has lower innovation capabilities than under scenarios B1 to B3. Under those scenarios, the capabilities of the actors making up the system of innovation decay from their initial values. The rate of acquisition of new knowledge was lower than the rate at which knowledge becomes obsolete. As a result, we neither show nor analyze those scenarios. It is unlikely to observe that the innovation capabilities of the system of innovation decay from the level

they already reached.

2) Behavior under scenarios B1, B2 and B3

Although scenarios B1, B2 and B3 differ slightly from each other, they represent the case of a new firm operating in a system of innovation with higher initial science and technology capabilities than under scenarios A1, A2 and A3. In addition, the level of spillovers is also higher. This reflects the fact that in a system of innovation with high capabilities, the external benefits received free from research activities taking place at GIs and HEIs is high.

We expect to observe that the accumulation of capabilities at HEIs, GIs and the firm evolves faster and reaches a higher level under scenarios B1 to B3 than under scenarios A1 to A3. The fast development of the HEIs' and GIs' capabilities should encourage the firm to invest in R&D early on its life span, thus positively affecting the firm's overall performance.

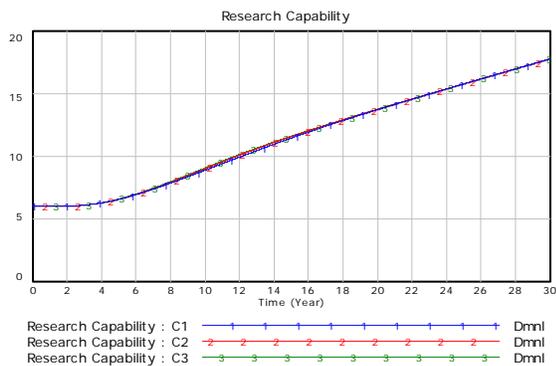


Fig. 11

HEIs' research capability under scenarios B1, B2 and B3

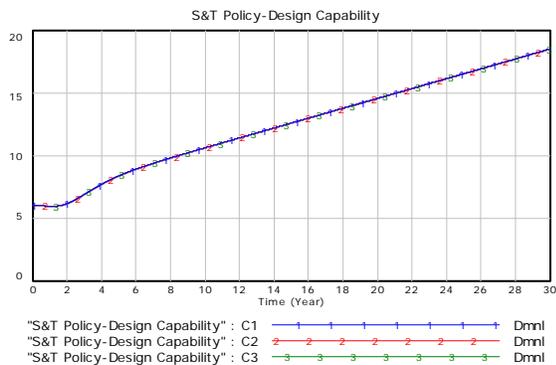


Fig. 12

GIs' research capability under scenarios B1, B2 and B3

Given that, at the beginning of the simulation, HEIs and GIs have accumulated higher capabilities

under scenarios B1 to B3 than under scenarios A1 to B3, the accumulation of capabilities unfolds faster. In other words, the technological base necessary for the further development of capabilities is bigger, thus the learning process regulating the accumulation of capabilities evolves more rapidly. The HEIs' research capability reaches the steady state growth -given by the evolution path of the exploitable capability- approximately in year 12 (Fig. 11), which is more than 10 years earlier than under scenarios A1 to A3. The GIs' policy-design capability reaches the steady state growth approximately in year 6 (Fig. 12), which is 6 years earlier than under scenarios A1 to A3.

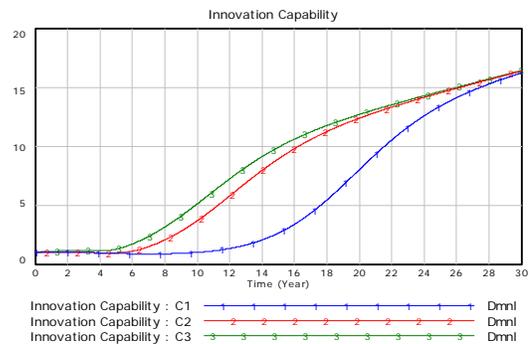


Fig. 13

Firm's innovation capability under scenarios B1, B2 and B3

Surprisingly, the development of both the HEIs' capability and the GIs' capability does not seem to be sensitive to the differences in the firm's innovation capability across the three scenarios (Fig. 13). The interaction between HEIs and GIs is stronger in comparison to both the interaction between HEIs and the firm and between GIs and the firm. As a result, the interaction between HEIs and GIs reinforces the development of their own capabilities independent from the firm's capability evolution. In contrast, the development of the firm's innovation capability does depend on the evolution of the HEIs' and GIs' capabilities.

The fast development of the HEIs' and GIs' capabilities encourages the firm to invest in R&D early on its life span. The firm invests in R&D in year 3 under all three scenarios. After this, the development of the firm's innovation capability takes approximately 9 years under scenario B1, and 3 years under scenarios B2 and B3 (Fig. 13), which

is sooner than in the scenarios A1 to A3 explained in the previous section.

The reason explaining the lag between the firm's innovation capability under scenarios B1 and B2, is that it is less difficult to learn from the environment under scenario B1 than under scenario B2. Under scenario B2, the positive effect counteracts the negative effect of being within an environment that hinders learning. Hence, the firm's innovation capability develops faster under scenario B2 than under scenario B1 (see Fig. 13).

The difference between the assumptions under scenario B3 and scenarios B1 and B2 is the higher quality, productivity and capital expansion targets faced by the firm. In addition, the difficulty to learn from the environment is higher under scenario B3 than under scenario B1. As a result, two main issues regarding the model behavior under scenario B3 are worth explaining:

1. Unlike in scenarios B1 and B2, the firm's innovation capability during the first 3 years is not significantly reduced before the firm starts investing in R&D. Due to the capability gained from the technology adaptation task, before year 3 the firm's innovation capability is higher under scenario B3. This advantage in the capability under scenario B3 is amplified by the reinforcing loop representing the learning process. It is reasonably logical to observe a faster evolution of the innovation capability under scenario B3 compared to the other two scenarios.

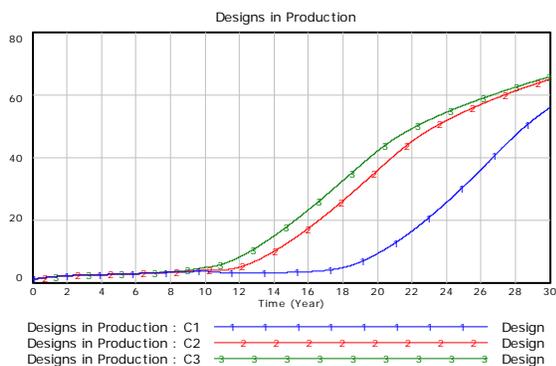


Fig. 14
 Designs in production under scenarios A1, A2 and A3

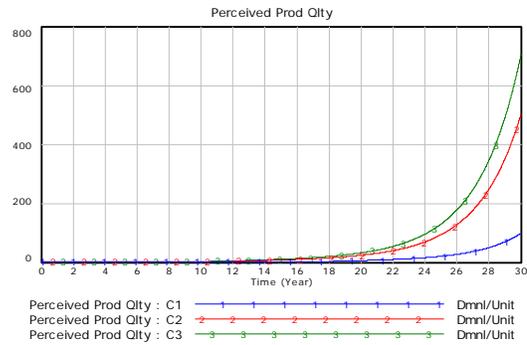


Fig. 15
 Perceived product quality under scenarios A1, A2 and A3

2. The overall firm's behavior, not only in the accumulation of capabilities but also in the designs in production (Fig. 14) and the product quality (Fig. 15), is superior under scenario B3 than under scenarios B1 and B2. The firm's economic performance, according to the EBIT, is also better (Fig. 16a). Although the firm has to comply with high quality, productivity and growth (capital expansion) targets, the firm operational costs do not sufficiently increase so as to increase the perceived product price, which is given by the ratio between the product price and the product quality. The perceived product price is, in general, better under scenario B3 than under scenarios B1 and B2 (Fig. 16b).

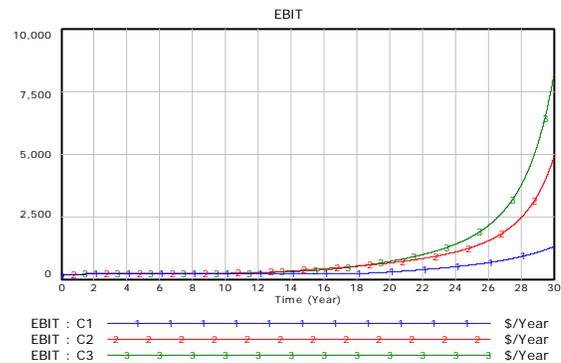


Fig. 16a
 Firm's EBIT under scenarios A1, A2 and A3



Fig. 16b
 Perceived product price under scenarios A1, A2 and A3

Regarding the ROA, the firm's economic performance under scenario B3 is better than under scenario B1 but lower than under scenario B2 (Fig. 17). This indicates that the earning the firm gets in comparison to the resources that it has at its disposal are lower than in scenario B2. If the firm has to comply with high performance standards, it is less efficient to generate earnings under scenario B3 than under scenario B2.

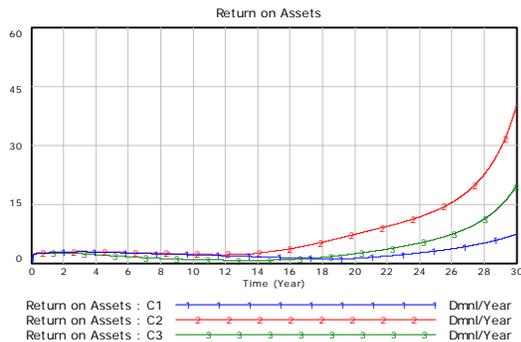


Fig. 17
 Firm's ROA under scenarios A1, A2 and A3

3) Comparison between scenarios A3 and B3

The overall firm's behavior, not only in the accumulation of capabilities but also in the designs in production and the product quality, is superior under scenario B3 than under scenario A3. Both the firm's EBIT and ROA reflect the firm's superior performance under scenario B3 over the entire simulation time.

The comparison between scenarios A3 and B3 illustrates that a weak system of innovation, in which neither GIs accumulate sufficient capabilities necessary to design effective science and technology policies nor HEIs accumulate the research capabilities necessary to interact with the

industry, will not encourage the private firm to allocate resources to R&D early on its life span. As a result, the firm does not develop its innovation capability either and it is unable to support the development of capabilities at the other agents. It is in this sense that the accumulation of capabilities in the system of innovation is caught in a vicious cycle. This situation has significant economical consequences when the firm copes with high performance standards in the market place. The sooner the firm is encouraged to invest in R&D the better.

V. RESEARCH CONTRIBUTION

A. First contribution: offering a comprehensive theory

Richardson [37] claims that “feedback scholars...have in fact argued for formal models on the grounds that even words can be an inappropriate representation, leading to false conclusions about the underlying causes of the behavior of complex systems”. Furthermore, as Forrester indicates [19], “verbal statements need to be clarified by translating them into less ambiguous forms and into a form that will allow us to experiment with the implications of the statements already made”.

Robledo forcefully argues that the understanding of the poor innovation performance of the Colombian industry resides in the awareness or decision-making stage of the innovation process. In other words, in the stage in which firms become aware of a problem or an opportunity, and they make either innovation favoring or innovation avoiding decisions.

The value of this research lies in the insights gained by transforming a verbal model into a quantified simulation model with the aid of the system dynamics method. We found that system dynamics serves as a framework to organize and filter knowledge thus leading to a better understanding of complexity. It is in this sense that this research offers an extensive comprehension of both the poor innovation performance of the Colombian industry and its scarce level of the technological capabilities. It is expected that a better

understanding of the problem will improve decision making and future policy design regarding R&D.

The qualitative model offered by Robledo points out two important issues: 1. the innovation paradigm influences the willingness of the system of innovation to carry out R&D as a strategic path of development; and 2. the structure of the system of innovation is characterized by the interactions among HEIs, GIs, and the industry. Their interactions comprise four feedback loops and yield the learning process through which the three agents accumulate innovation related capabilities.

As we mentioned, Robledo asserts that innovation favoring decisions will produce a “virtuous circle” of accumulation of capabilities within the system of innovation. In contrast, innovation avoiding decisions produce a “vicious circle” that either prevents the organizations from accumulating capabilities or causes the accumulation to stop at a certain level⁵. Furthermore, the level of capabilities influences the R&D decision itself.

Robledo refers indistinctly to two different patterns of behavior when the accumulation of capabilities is governed by the “vicious circle”. It follows that it is either trivial to distinguish them as different patterns of development and Robledo uses the expression “vicious circle” just to denote a general closed loop of causal influences, or it is difficult to infer the emergent behavior of the intertwined relationship among the system’s agents. In either case, the need to translate verbal statements into a less ambiguous form is obvious. As they are expressed by Robledo, the verbal expressions characterizing “vicious circle” in the accumulation of capabilities leave open questions such as: Under which conditions each pattern of behavior takes place? Are they produced by the same underlying structure? Which reasons confer a flawed connotation to either pattern of behavior? The translation of a verbal model into a formal model forces us to make a distinction between the two types of behavior and to determine the structure

originating them.

As mentioned earlier in this paper, with the aid of the system dynamics method, we identified the following issues regarding the relationship between structure and behavior:

- A positive, or self-reinforcing, loop produces exponential growth and can also create self-reinforcing decline. Thus, both a virtuous and a vicious cycle can be produced by a positive feedback loop.
- The accumulation of a quantity that stops at a certain level, is produced either by a negative loop dominated system or a nonlinear system, at least, composed of two feedback loops (one positive and one negative) linked non-linearly. For instance, a nonlinear first-order system displays S-shaped growth and represents a more realistic situation than a positive dominated loop, since no real quantity can grow (or decline) forever. Nonetheless, the behavior of a nonlinear first-order system is not superior or poor per se.

With regard to the innovation performance of the Colombian industry, it is not plausible to observe neither pure exponential growth nor pure exponential decay in the accumulation of innovation capabilities. There are factors that constraints a self-reinforcing process from expanding the accumulation of capabilities beyond all bounds either linked to a developing economy, such as the accessibility of information and the educational level, or akin to the properties of knowledge such as tacitness and obsolescence. As a result, the structure of the model we built takes in account the fact that no quantity can grow without any limit.

We consider that both the pace of and the limits to growth in the development of capabilities are the reasons that confer a flawed connotation to the evolution of the innovation related capabilities of a system of innovation. In the Colombian case, both the pace and the level reached by the technological capabilities have not been sufficient to yield a proper economic development of the industry. It is in this sense that the system might be caught in a vicious cycle.

To finish off, it is important to mention that

⁵ Although Robledo uses indistinctly both sentences to denote the emergent behaviour of a vicious cycle, we adopt the second expression “accumulation stops at a certain level” as the reference mode of the vicious cycle (see chapter 3). The reason to have chosen the second expression is that Robledo uses it more often than the first one.

Robledo does not define a clear time frame for the perception of the problem. This time frame is crucial for the problem assessment and analysis. For instance, regarding the non-linear system underlying the accumulation of capabilities, we can observe pure exponential growth if the time horizon is sufficiently short so as to prevent us to perceive how the capability growth slows down as the capability approaches its maximum value. Furthermore, we can witness a stagnant development of capabilities just after the learning process was initiated. The formalization of the verbal model made necessary the definition of a time horizon.

B. Second contribution: improving the understanding of the problem

Robledo defines innovation as a learning process that benefits not only from the firm's internal learning process underlying the accumulation of capabilities but also from the firm's interaction with HEIs and GIs. Furthermore, he asserts that the low level of innovation capabilities accumulated by the Colombian industrial innovation system, the fact that firms are not willing to invest in R&D and the interactive learning regulating the accumulation of capabilities are inhibiting the further development and accumulation of innovative capabilities.

This thesis illustrates that the low level of innovation capabilities accumulated within the system of innovation is actually delaying its own development. As a result, the threshold of accumulated capabilities at HEIs and GIs needed in order to encourage the private firm to invest in R&D might take decades to be reached, as we showed in the previous sections. This fact is indirectly suggested by Narula [40] when he discusses about the linkages among the actors of a system of innovation:

“Such linkages [linkages within the SI] are both formal and informal, and will probably have taken years –if not decades– to create and sustain.”

Although the low level of capabilities has delayed its own development, the learning process underlying the accumulation of capabilities is currently taking place. As we examined with the

different scenario simulations performed, the positive loop dominating the early development of capabilities has the ability to amplify any disturbance or any initial capability developed by the system of innovation.

Robledo concludes that a minimum level of capabilities is required for the virtuous cycle of development to gain momentum. This fact was clearly observed in the simulations. Unless none capability has been accumulated in HEIs or GIs until the present time, the interactive learning between the firm, HEIs and GIs will necessarily trigger the development of their capabilities. If the system of innovation has accumulated little capabilities so far, the further development of capabilities will evolve at a very slow pace. As a result, when the level of capabilities will be sufficient to encourage the firm to invest in R&D, it might be late and probably the firm will have not survived in the meanwhile, since it failed to develop the capabilities necessary to compete in the market.

In addition, we found that among the four feedback loops that, according to Robledo, govern the interactions among HEIs, GIs, and the industry, the interaction between HEIs and GIs is stronger in comparison to both the interaction between HEIs and the firm and between GIs and the firm. As a result, the interaction between HEIs and GIs reinforces the development of their research capability and policy-making capability independent from the firm's capability evolution. In contrast, the development of the firm's innovation capability does depend on the evolution of the HEIs' and GIs' capabilities.

The fact that the interaction between HEIs and GIs reinforces the development of their own capabilities rather independent from the firm's capability evolution reflects the crucial role that they have to play in the firm's innovation process. However, this is not consistent with the conclusions attained in the literature regarding the system made up by government, HEIs and industry. According to the literature on the triple-helix model of university, industry, and government relations [41], every actor plays a key role in the innovation process. In fact, in some cases each actor can take the role of the other

despite the different tasks they have to perform.

The actors that make up the system of innovation have to be aware not only of the role they play in the interactive learning regulating the accumulation of capabilities but also of the inertia embedded in the learning process itself. The role that HEIs and GIs have to play in the firm's willingness to invest in R&D is crucial, as well as the support –through policies- that they have to give to firms in order to sustain the firm's willingness to invest in R&D until a long time has elapsed and the firm gets the benefits from their investments in R&D. This fact reflects one of the conclusions reached by Robledo [1], as he denotes it:

“The need for a learning approach to innovation and technological change must be recognized by key actors of the innovation process (industrialists, academics and policy-makers). The obvious condition to learn is to recognize the need to do so and to be willing to make the sustained efforts that learning requires”.

In addition, the actors have to understand that the system interdependence is not “good” or “bad” per se as long as every actor is aware of the system structure and its own role. Each actor has to understand that within a system of innovation not only the benefits of accumulating capabilities spill over the other actors, but also the negative aspects. A better understanding of the system structure is clue for a more efficient policy-design [18]-[42]. This is particularly important for the Colombian system of innovation since, as Robledo claims, there are inherent time lags in conveying the insights of innovation analysts to policy-makers making up the system.

We consider that if innovation is a learning process closely linked with the development of capabilities different to those necessary for the production process, it is logical to observe that the firm will fail to develop any capability to support innovation unless it makes direct investments in R&D. In reality, and relating this research to other studies regarding the technology dependence of developing countries, we found a key explanation or verification of previous conclusions reached in the literature [3]-[8]-[43]-[44]-[45]-[46]. When a firm is unable to innovate it has to license products developed else where. As a result, the firm does not

have the possibility to develop the capability necessary to neither produce the products already licensed nor to improve their quality. Furthermore, in case that it is cheaper to pay for licenses than investing in R&D, the firm will stay far from the possibility to develop the capabilities necessary not only to develop new products but also to interact with the GIs and HEIs. The sooner the firm is encouraged to invest in R&D the better; actually this is even more convenient if the firm has to comply with high performance standards.

As a final comment, we pointed out in the previous sections that the delay between the time that R&D investments take place and the time when direct benefits are perceived is significant. As a result, we recognize that given the intangible nature of capabilities and its effect on the innovation process, the actors making up the system of innovation maybe reluctant to invest in R&D. This fact highlights that industrialists, academics and policy-makers need to do both acknowledge that innovation is a learning process and estimate the intangible benefits of R&D.

C. Third contribution: increasing the accessibility of Robledo's research

Although the relationship between R&D and economic development is highly unquestioned [42]-[47]-[48]-[49], the attributes of that relationship is a matter not yet clarified. Based on the research done by Robledo [1] we established an initial formal model of the underlying causes explaining the poor innovation performance of the Colombian capital goods industry and the role played by Higher Education Institutions (HEIs) and the Government Institutions (GI) in the process of accumulation of innovation capabilities. By proposing formal relationships between the variables making up the verbal description of the problem we leave the relationships exposed to be questioned by other researchers beyond the qualitative statements. As said by Forrester [42], “assigning a number does not alter the accuracy of the original statement, but it does create a much more explicit basis for communication”.

Likewise, this first formal representation of the research done by Robledo could be questioned by

the actors that make up the system of innovation itself - industrialists, academics and policy-makers. They could examine the assumed relationships among the structure components and judge their plausibility. They could add also dynamics or assumptions that were omitted by both Robledo and us. Hence, this research might help to attain one of the purposes of Robledo's research: to highlight the roles that firms, HEIs and the government have to play in the performance of the system of innovation. This might be also the first step to improve policy-design regarding science and technology.

To finish off, this study suggest that a careful analysis of an existing theory can be very generative, helping to test and extend verbal theories and provide new explanations for empirical results about the complex phenomena of innovation within a developing economy.

VI. REFERENCES

- [1] J. Robledo Velásquez, "The Role of Higher Education Institutions and the Government in the Industrial Innovation Process: The Case of the Colombian Capital Goods Industry". Ph.D. diss., University of Sussex. 1997.
- [2] X. Durán, M. Salazar y R. Ibáñez. 2000. "La innovación tecnológica en Colombia. Colombia: Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología – OCyT-." 198p.
- [3] T.N. Hansen, "The evolution of science & technology: Latin America and the Caribbean in comparative perspective. The World Bank." 103p. et al. 2002.
- [4] W. F. Maloney, "Missed Opportunities: innovation and resource-based growth in Latin America." Policy Research Working Paper 2935. The World Bank. 2002
- [5] De Ferranti, David et al. 2003. Closing the gap in education and technology. World Bank Latin American and Caribbean Studies. 216p.
- [6] *A Decade of Investment in research and development (R&D): 1990-2000. UIS Bulletin on Science and Technology Statistics. Issue No. 1, April 2004.* 4p. UNESCO. 2004.
- [7] RICYT. Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología. 2005. Indicadores comparativos. [cited june 2005] Available from www.ricyt.org
- [8] L.K. Mytelka, Technological dependence in the Andean group. International Organization 32(1): 101-139. 1978.
- [9] L. Alcorta., W. Perez. "Innovation systems and technological specialization in Latin America and the Caribbean." Research Policy 26: 857-81. 1998.
- [10] J.E. Cassiolato, A. Villaschi and R. Ramos. "Local productive and innovative systems in Brazil: a policy perspective. In Systems of innovation and development: evidence from Brazil". Edited by Cassiolato, J., H. Lastres and M. Maciel. Cheltenham, UK: Edward Elgar. 643p. 2003.
- [11] P. Vargas , M., F. Malaver R. y A. Zerda S. "La innovación tecnológica en la industria colombiana: un estudio de dos cadenas industriales". Ira ed. Bogotá D.C.: Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. 589p. 2003.
- [12] A. Villaschi, and E. Dos Santos. "The metal-mechanic production system in Espírito Santo: commodity exports and local industrial capabilities. In Systems of Innovation and development: evidence from Brazil." Edited by Cassiolato, J., H. Lastres and Maciel. Cheltenham, UK: Edward Elgar. 643p. 2003.
- [13] Kay, Neil. 1988. The R&D function: corporate strategy and structure. In Dosi, Giovanni et al. Technical change and economic theory. London: Pinter, 282-293.
- [14] Z. Griliches, and T. Jakob Klette. "Empirical patterns of firm growth and R&D investment: a quality ladder model interpretation." NBER Working Paper Series. Working Paper 5945. National Bureau of Economic Research. 25p. 1990.
- [15] OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. 2005. Source OECD Science and Technology Database [cited June 2005]. Available from <http://titania.sourceoecd.org>
- [16] P. M. Milling, "Understanding and managing innovation processes. System Dynamics Review 18: 73-86." 2002.
- [17] J. A. Vennix, and J. W. Gubbels. "Knowledge elicitation in conceptual model building: a case study in modelling a regional Dutch health care system. In Modeling for learning organizations". Edited by Morecroft, John D. W. and John D. Sterman. Productivity Press. 121-145. 1994.
- [18] J. Sterman, "Business dynamics: systems thinking and modelling for a complex world." McGraw-Hill Higher Education. 982p. 2000.
- [19] J.W. Forrester, "Industrial Dynamics." MIT Press. 464p. 1961.
- [20] UN. United Nations. 1985. The capital goods sector in developing countries: technology issues and policy options. United Nations Conference on Trade and Development. Geneva. United Nations, New York. 183p.
- [21] B. Johnson, Institutional Learning. In Lundvall, B-Å. National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning. Pinter Publisher, London, 23-44. 1992.
- [22] OECD. Oslo manual: proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data. Second Edition. 92p.
- [23] G. Dosi, C. Freeman and S. Fabiani. The process of

- economic development: introducing some stylized facts and theories on technologies, firms and institutions. *Industrial and Corporate Change* 3(1): 1-45. 1994.
- [24] R. Nelson and S. Winter. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Mass: Harvard University Press. 1982.
- [25] M. Sastry, "Problems and paradoxes in a model of punctuated organizational change. *Administrative Science Quarterly*" 42: 237-275. 1997.
- [26] K. Pavitt, *The process of innovation*. SPRU Electronic Working Paper Series 89: 1-47. 2003.
- [27] G. Dosi, Sources, procedures and microeconomic effect of innovation. *Journal of Economic Literature* 26(3): 1120-71. 1988.
- [28] W. M. Cohen and D. A. Levinthal. "Innovation and learning: the two faces of R&D". *The Economic Journal* 99(397): 569-96. 1989.
- [29] _____. 1990. Absorptive Capacity: A new perspective on innovation. *Administrative Science Quarterly* 35(1): 128-52.
- [30] K. Warren, *Competitive strategy dynamics*. John Wiley & Sons Ltd. 330p. 1992.
- [31] S. Dutta, O. Narasimhan and S. Rajiv. Success in high-technology markets: is marketing capability critical? *Marketing Science* 18 (4): 547-568. 1999.
- [32] G. H. Gaynor, "Handbook of technology management". McGraw-Hill. 1996.
- [33] J. Randers. "Elements of the system dynamics method. MIT Press". 320p.
- [34] R. Oliva, "Model calibration as a testing strategy for system dynamics models. *European Journal of Operational Research*" 151: 552-568. 2003.
- [35] W. Barlas. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review* 12(3): 183-210. 1996.
- [36] D.W. Peterson and RL Eberlein. Reality Check: a bridge between systems thinking and system dynamics. *System Dynamics Review* 10 (2-3): 159-174. 1994.
- [37] G.P. Richardson, *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*. Pegasus Communications. 374p. 1999.
- [38] D. H. Meadows, "The unavoidable a priori". In Randers, Jørgen. *Elements of the system dynamics method*. MIT Press, 23-57. 1980.
- [39] G.P. Richardson, Loop polarity, loop dominance, and the concept of dominant polarity. *System Dynamics Review* 11 (1): 67-88. 1995.
- [40] R. Narula, "Innovation systems and 'inertia' in R&D location: Norwegian firms and the role of systemic lock-in. *Research Policy*" 31: 795-816. 1995.
- [41] H. Etzkowitz, and L. Leydesdorff. The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy* 29: 109-123. 2000.
- [42] J.W. Forrester. Policies, decisions, and information sources for modeling. In *Modeling for learning organizations*. Edited by Morecroft, John D. W. and John D. Sterman. Productivity Press. 51-84. 1994.
- [43] R. Nelson. and H. Pack. The Asian miracle and modern growth theory. Policy Research Working Paper 1881. The World Bank Development Research Group. 44p. 1998.
- [44] H. Pack and L.E. Westphal. "Industrial-strategy and technological-change - theory versus reality. *Journal of Development Economics*" 22 (1): 87-128. 1986.
- [45] F.J. Contractor. "Technology importation policies in developing-countries - some implications of recent theoretical and empirical-evidence". *Journal of Developing Areas* 17 (4): 499-519. 1983.
- [46] A.D. Buckley. Displacement of innovation through direct foreign-investment. *Journal of International Affairs* 33 (1): 155-158. 1979.
- [47] P. Aghion and P. Howitt, "Endogenous growth theory." 694p. 1999.
- [48] R. Solow. "Perspectives on growth theory. *Journal of Economic Perspectives*" 8 (1): 45-54. 1994.
- [49] P. Romer. The origins of endogenous growth. *Journal of Economic Perspectives* 8 (1): 3-22. 1994.

About the authors

Ana María Mora Luna

Academic background:

- MPhil in System Dynamics (Candidate). University of Bergen, Norway.
- Bachelor in Management Engineering. Universidad Nacional de Colombia.

Work experience:

- October 2002 – July 2003
Assistant of research
Energy Institute at the National University of Colombia

Publication list:

- Mora L., Ana María. Public debt unsustainability in Colombia. The 2nd Colombian System Dynamics Meeting. Santa Marta. August 2004.
- Mora L., Ana María and Markus Zchintzsch. A hiring decision task: do people in reality make optimal decisions under complex conditions? The 2nd Colombian System Dynamics Meeting. Santa Marta. August 2004.
- Mora L., Ana María, Carla S. Agudelo and Isaac Dyner. Wind energy in Colombia: an approach from the real options. The 21st International System Dynamics Conference. New York. July 2003.

Pål I. Davidsen

Professor
System Dynamics Group
Geography Department
Faculty of Social Sciences
University of Bergen
Norway

Normalización de la moneda

Nicholls SC, Jose Jaime, y Jaén, Sebastián
josejaime@epm.net.co, jsjaenp@unalmed.edu.co
Universidad Nacional de Colombia

Resumen— En el presente trabajo se analizan los efectos que tendría en el país, la adopción de un nuevo sistema monetario simplificado, principalmente analizando sus efectos antiinflacionarios y la incidencia en la disminución de costos por la reposición del dinero.

Índice de Términos— Nuevo peso, Nuevas denominaciones, Normalización de la moneda, inflación, costo del dinero y Dinámica de sistemas.

I. INTRODUCCIÓN

La moneda es el patrón que sirve para comparar el valor de todas las mercancías y es la unidad de cuenta que permite medir el resultado de las diferentes actividades económicas. Las funciones básicas que desempeña la moneda como elemento esencial en el desarrollo óptimo de las transacciones económicas de un país son servir como medio general de cambio o de transacción, como unidad de cuenta y como depósito de valor.

Cuando la moneda presenta problemas para desempeñar el papel que le corresponde, surge la necesidad de sustituirla bajo cualquiera de estas tres formas: la adopción de una moneda extranjera, la estabilización de la misma o la normalización (Nicholls, Proyecto de ley 074 de 2000).

La adopción de una moneda extranjera, generalmente el dólar, se define como el cambio de la moneda doméstica por una moneda extranjera, que en nuestro medio se ha denominado dolarización o el caso europeo donde la mayoría de los países adoptaron el EURO, en este caso mas por identidad regional y facilidad en las transacciones

La estabilización es usada cuando surge la necesidad de frenar un avanzado estado inflacionario dentro de una economía. La estabilización monetaria se implementa con la restricción de la cantidad de efectivo circulante, es decir, una reducción en la oferta monetaria (Labor Law Talk, 2005).

La normalización monetaria es el cambio de la moneda a partir de su división por mil. Este cambio se efectúa cuando una economía ha alcanzado un nivel aceptable del manejo de la inflación y tiene por objetivo facilitar la contabilidad en las

empresas y el comercio, así como el registro del dinero y las transacciones.

Al respecto, el Banco de la República de Colombia (Banco central) señala que “la reducción de los ceros en la moneda no tiene consecuencias sobre las políticas que el Gobierno ha planeado en relación con la economía. El Banco de la República también aclaró que este cambio tampoco afectará el costo de vida o la inflación; simplemente, los precios y todas las actividades con dinero estarán expresados en la nueva moneda” (Banco de la República, 2000).

Pese a que el banco sostiene que el cambio de la denominación en la moneda no tiene efectos significativos en la economía, plantea que “el nuevo peso tendría un efecto psicológico positivo en los colombianos” (Banco de la República, 2000). Este efecto psicológico positivo, más los efectos inflacionarios que plantea el tener una moneda con denominación alta constituyen los derroteros de este trabajo.

II. ANTECEDENTES

Hoy el mundo cuenta con más de 200 monedas diferentes, pero se piensa que a mediano plazo estas se reducirán a menos de 10 (Nicholls, Proyecto de ley 074 de 2000).

Si se da un rápido vistazo a la historia colombiana vemos que en 1808 aparecen los denominados cuartillos que posteriormente pasan a denominarse Escudos-oro y luego en 1825 aparece la primera moneda de un peso equivalente a 8 Reales que eran medio Escudo (Nicholls, Proyecto de ley 074 de 2000).

Para 1834 se coloca en circulación el llamado Colombiano equivalente a 8 Reales, dando lugar a las tres monedas de \$1, \$2 y \$16 que correspondían a su vez a medio, uno y 8 escudos respectivamente y a mediados del siglo se hace la conversión a nuestro primer sistema decimal al convertir 8 Reales en 10 Nuevos Reales y sus demás equivalencias (Nicholls, Proyecto de ley 074 de 2000).

Pocos años mas tarde en 1872 se divide el peso en decimos y estos se subdividen estableciendo por primera vez los 100 centavos y por ultimo en 1905 se fija el Peso-Oro por su equivalencia con este metal que representa los \$100 de la época y así continua hasta la fecha. (Nicholls, Proyecto de ley 074 de 2000).

Si se hace un recorrido por el mundo, vemos que la mayoría de los países han efectuado reformas o simplificaciones de su moneda, una o varias veces en este ultimo siglo, así Brasil en

menos de los últimos 20 años cambio su moneda en 5 oportunidades, el caso de Argentina que a partir de 1970 suprime 4 ceros a su moneda, hace luego una equivalencia con el dólar y en corto tiempo regresa a su peso argentino. (Nicholls, Proyecto de ley 074 de 2000).

Por otra parte se mira a México hace una conversión de \$1000 pesos al nuevo peso mejicano, bastante similar a nuestro caso. (Nicholls, Proyecto de ley 074 de 2000).

En Europa merecen destacarse los casos de Italia con sus liras, Francia con el nuevo franco y quien lo creyera Alemania con su marco, al que llego a suprimirle siete ceros, todos ellos antes de la unificación que efectuaron con el Euro.

Otra situación para mirar es el caso Centroamericano donde la mayoría de los países tienen una marcada tendencia a dolarizar sus monedas, comenzando con Panamá, siguiendo con Guatemala, donde también circula actualmente el dólar, y con la posibilidad de adoptarlo que piensan Nicaragua, Honduras y Costa Rica.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por más de cien años Colombia no ha cambiado su punto de partida en cuanto a las denominaciones monetarias. Este hecho se ha reflejado en el sinnúmero de piezas monetarias que se requieren para expresar un valor determinado. Tanto el común de las personas como de las entidades gubernamentales y financieras hayan adoptado maneras o formas de expresar las cifras monetarias de manera simplificada. Por ejemplo: barras, lucas etc. Como sinónimo de miles de pesos. En el sistema de presentación exigir que todas las cifras se presenten en miles o que los tres últimos dígitos de todos los valores se aproximen a ceros.

Además de esto estas grandes denominaciones, como ha sucedido en la mayoría de los países del mundo se ha convertido en un factor inflacionario, haciendo que los precios siempre se redondeen por lo alto encareciendo su valor. En la figura 1 se puede apreciar como el uso de denominaciones desactualizadas u obsoletas no permite registrar con exactitud la magnitud de las cifras con las que se opera a diario, además del no empleo de las bajas denominaciones que prácticamente por la falta de uso han desaparecido (como se ve, todo empieza a contar a partir de la unidad mil).

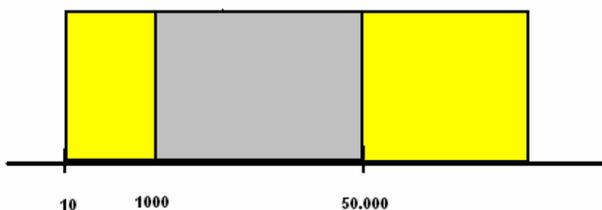


Figura 1. Desfase en la denominación monetaria.

Desde otra perspectiva en Colombia ha desaparecido el uso del dinero metálico por su poco valor significativo, lo que implica que dejen de acuñarse monedas por parte del Banco de la República, y en su lugar imprima papel billete el cual es más costoso y requiere una reposición más frecuente a causa de su desgaste. Se ha llegado a establecer que la duración entre moneda y billete es de 20 a 1 en el tiempo (Banco de la República, 2000).

En este trabajo se pretende justificar mediante Dinámica de sistemas los efectos que se presentan hoy en día con nuestro actual sistema monetario, y los beneficios y economía que reportaría para el Estado la adopción de un nuevo sistema monetario simplificado y acorde con la realidad nacional.

IV. MODELO

En la identificación de los problemas inflacionarios y de costo que representa el uso de altas denominaciones monetarias, se ha planteado el modelo de la figura 2.

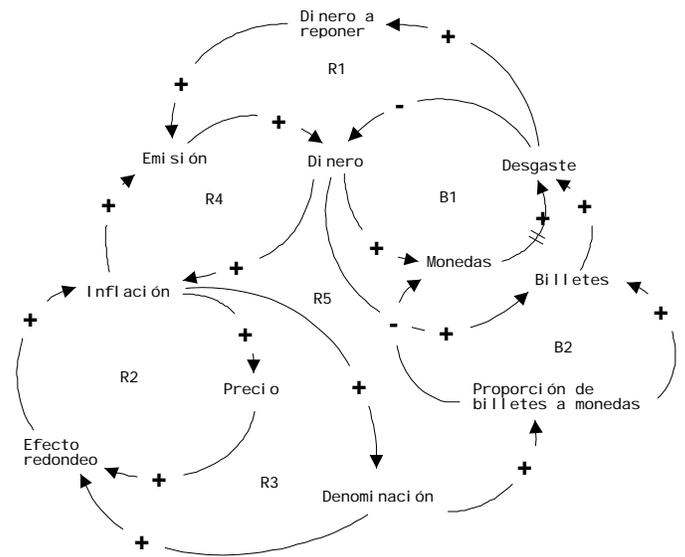


Figura 2. Hipótesis dinámica del efecto inflacionario de las altas denominaciones monetarias.

La dinámica que plantea el modelo está dada por los siguientes ciclos:

R1: Está representando el ciclo del dinero. Inicialmente se da una emisión que obedece a factores inflacionarios y de desgaste de la moneda. Posteriormente, el dinero se convierte en dinero circulante. A continuación el dinero circulante se ve disminuido por el deterioro físico del mismo que obliga a una reposición mediante nuevas emisiones por parte del Banco de la República.

B1: Explica o justifica la reposición del dinero, tanto monedas como billetes a causa del desgaste natural de los mismos. El retardo que va de *Monedas* a *Desgaste* está justificado por la poca utilización y la mayor durabilidad de estas con respecto a los billetes.

R2: Este ciclo presenta el efecto del redondeo en los precios, que al efectuarse por lo alto contribuye a una mayor inflación.

R3: Muestra el efecto del redondeo en la inflación. Este ciclo plantea el hecho de que se redondea por lo alto en función de la denominación monetaria más usada, con una tendencia creciente hacia cifras más altas contribuyendo al incremento de la inflación.

R4: Este ciclo explica la necesidad de efectuar emisiones de dinero ocasionados por el factor inflacionario. Adicionalmente, este ciclo está representando la contribución al incremento de la inflación debido al mayor número de denominaciones monetarias (billetes y monedas), y a los altos valores que se efectúan en las transacciones normales en el país.

R5/B2: Este ciclo ilustra el efecto de la inflación en el mayor número de denominaciones de billetes y la menor utilización de las monedas.

V. RESULTADOS

La simulación del modelo permite ilustrar como de manera exponencial crece la magnitud de dinero a reponer. En la figura 3 se observa en la línea roja, el crecimiento exponencial de esta cantidad cuando se está trabajando con denominaciones altas. Al implementar la nueva denominación, línea verde, se observa que este comportamiento exponencial no es tan pronunciado como con el nuevo. Esta situación tan disímil obedece a que con la nueva denominación se utilizan más monedas y se necesita menos dinero para representar las magnitudes usadas.

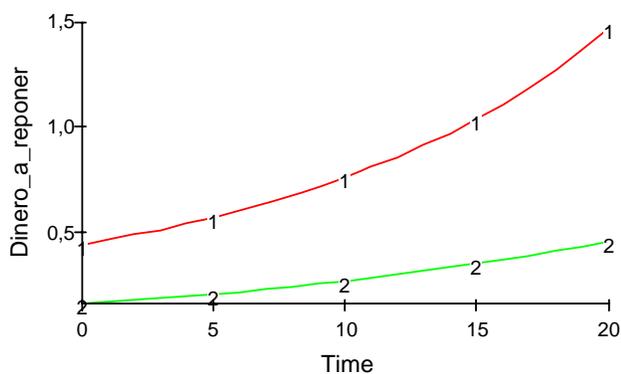


Figura 3. Cantidad de dinero a reponer con ambas políticas.

En la figura 4, se muestra la diferencia entre en el comportamiento de la tasa de inflación bajo mantener la vieja denominación (línea roja) y utilizar la nueva (línea verde).

Se debe aclarar que aquí no se está pretendiendo explicar todos los efectos que inciden en la inflación, ni se está afirmando que la inflación únicamente se debe a factores monetarios. El factor monetario es uno de tantos elementos

que influyen en la evolución de de la variable inflación, y para efectos de este trabajo son los únicamente modelados.

La inflación bajo la política de mantener el viejo peso sufre un incremento debido a dos factores: el primero es el efecto redondeo por lo alto, y el segundo obedece al crecimiento de la masa monetaria lo cual en sí constituye un elemento inflacionario.

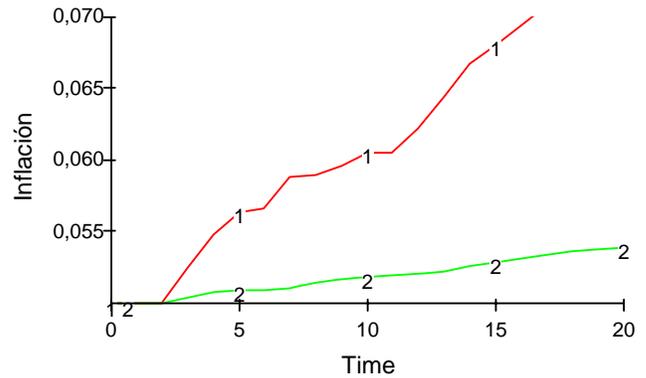


Figura 4. Efecto inflacionario de una u otra política.

VI. CONCLUSIONES

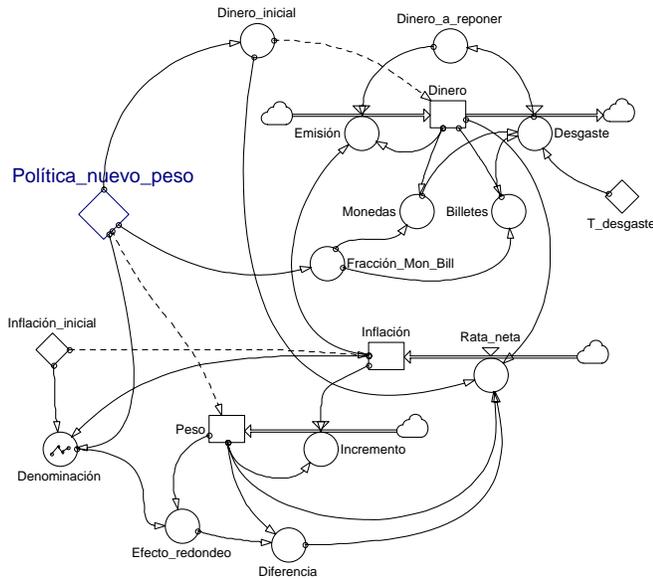
En este trabajo se ha mostrado de manera sencilla cuál es el impacto de la utilización de una y otra denominación. En este caso, se muestra la gran utilidad que implicaría la normalización de la moneda en los efectos antiinflacionarios y en la reducción de los costos de reposición del dinero.

Se muestra también con este trabajo que es posible hacer mayores desarrollos futuros y ampliar las ramas de investigación en este campo, sobre todo en las denominaciones monetarias propuestas.

Se ve como la Dinámica de sistemas es una metodología que ayuda a visualizar con mayor facilidad los impactos de una y otra política.

APÉNDICE

A. Modelo.



B. Ecuaciones del modelo.

```

init    Dinero = Dinero_inicial
flow    Dinero = -dt*Desgaste +dt*Emisión
init    Inflación = Inflación_inicial
flow    Inflación = +dt*Rata_neta
init    Peso = 1000/(1+999*Política_nuevo_peso)
flow    Peso = +dt*Incremento
aux     Desgaste = Billetes/T_desgaste
+Monedas/(20*T_desgaste)
aux     Emisión = Dinero_a_reponer+Inflación*Dinero
aux     Incremento = Peso*Inflación
aux     Rata_neta =
(Diferencia/Peso)*(Dinero/Dinero_inicial)
aux     Billetes = Dinero*(1-Fracción_Mon_Bill)
aux     Denominación = GRAPHSTEP(1-
Inflación_inicial/Inflación,0,0.1,[0.01,0.01,0.01,0.05,0.05,
.01,0.1,0.1,0.25,0.25"Min:0.01;Max:0.25;Zoom"])*Política_n
uevo_peso + GRAPHSTEP(1-
Inflación_inicial/Inflación,0,0.1,[50,50,50,50,100,100,100,200
,200,200,500"Min:0;Max:500;Zoom"])*(1-
Política_nuevo_peso)
doc     Denominación = 1-Inflación_inicial/Inflación
aux     Diferencia = ABS(Peso-Efecto_redondeo)
aux     Dinero_a_reponer = Desgaste
aux     Dinero_inicial = 10/(1+1*Política_nuevo_peso)
aux     Efecto_redondeo =
ROUND(Peso/Denominación)*Denominación
aux     Fracción_Mon_Bill = 0.1*(1-Política_nuevo_peso) +
0.333*Política_nuevo_peso
aux     Monedas = Dinero*Fracción_Mon_Bill
const   Inflación_inicial = 0.05
const   Política_nuevo_peso = 1
    
```

const T_desgaste = 20

REFERENCIAS

Colombia. Banco de la República (2000). *Proyecto de reducción de ceros en la moneda*. Obtenido el 8 de agosto de 2005 en: http://www.lablaa.org/ayudadetareas/economia/econo79.htm#_ftn1

Hermoso, Hernán (2002). *Dolarización*. Obtenido el 30 de agosto de 2005 en: <http://www.econlink.com.ar/economia/dolar/dolar.shtml>

Labor Law Talk Dictionary (2005). *Stabilization policy*. Obtenido el 8 de agosto de 2005 en: http://encyclopedia.laborlawtalk.com/Stabilization_policy

Nicholls SC, Jose Jaime (2000). *Proyecto de ley No 074/2000*. Congreso de la República de Colombia.

Autores

Jose Jaime Nicholls SC es Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Es Contador público de Uniremington. Magíster en Administración y finanzas en la EAE Barcelona, Postgrado en estadística CIENES, Santiago de Chile. Profesor universitario, Representante a la cámara y Senador de la República. Alcalde de Medellín, Embajador de Colombia en Brasil y las Naciones Unidas.

Juan Sebastián Jaén Posada es Ingeniero administrador de la Universidad Nacional de Colombia, Mágister en Ingeniería de Sistemas y estudiante de doctorado. Ha trabajado en el campo de la optimización y en el campo de la simulación de sistemas complejos.

La Dinámica de Sistemas como una Metodología para el estudio de la Deserción Estudiantil en la Educación Superior

Guerrero Julio, Marlene Lucila, Rodríguez Prada, Lizeth Nayive.
marleneguerrerojulio@yahoo.es, lichio4@hotmail.com
Universidad Cooperativa de Colombia

Resumen— Este documento muestra la utilización de la Dinámica de Sistemas como metodología y como herramienta para apoyar las investigaciones realizadas en el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Barrancabermeja en un aspecto de suma importancia como lo es la deserción estudiantil en las instituciones de educación superior.

Las causas y posibles consecuencias de la deserción se dejan observar a través de un análisis de sensibilidad con variación de escenarios, lo cual permitió llegar a consideraciones de peso para el programa.

Índice de Términos— Deserción, Dinámica de Sistemas, Modelación, Simulación.

I. INTRODUCCIÓN

En la última década, las instituciones de educación superior en Ibero América se han venido preocupando cada vez más por los altos índices de deserción estudiantil. Debido a esto las organizaciones educativas se han planteado estudios que permitan establecer estrategias para evitar la salida de los estudiantes del sistema educativo.

En este contexto el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia realizó un estudio de la deserción estudiantil utilizando como metodología guía y herramienta de modelado la Dinámica de Sistemas, ya que permite eficazmente el modelado y la simulación de sistemas complejos en el tiempo [1].

II. OBJETIVOS

Los objetivos planeados para esta investigación son:

- A. Evaluar la utilización de la Dinámica de Sistemas para el estudio de la deserción estudiantil con el fin de establecer los prototipos de simulación necesarios.
- B. Establecer las principales causas de la deserción estudiantil en el contexto regional del programa de Ingeniería de Sistemas.
- C. Diseñar el primer prototipo de simulación para el estudio de la deserción estudiantil utilizando la Dinámica de Sistemas.
- D. Analizar el comportamiento en el tiempo de la deserción estudiantil con el fin de plantear posibles estrategias de cambio.

III. MÉTODOS

A. *Análisis del Problema*

La realización de esta investigación partió de una idea de los estudiantes de sexto semestre de la clase de Modelación I del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia seccional Barrancabermeja.

Basándose en los pasos utilizados por la metodología de la Dinámica de Sistemas, se explicitó en primera instancia el modelo en prosa, el cual partía y se soportaba en las condiciones mínimas de calidad [2] y en el índice de deserción

presentado por el programa de Ingeniería de Sistemas en los últimos 6 años.

El modelo se planteó de tipo descriptivo - predictivo, ya que los datos estadísticos obtenidos en la investigación correspondían a la planeación que se entrega por años en el documento UCC en cifras de la seccional Barrancabermeja [3].

En estas estadísticas se mostraba la influencia del bajo rendimiento académico, de la violencia y de las causas laborales (entre otras) en la deserción estudiantil, cada año. Sin embargo, estos datos no se comparaban con los obtenidos en años anteriores y mucho menos se realizaba alguna descripción del comportamiento de tan complejo sistema dinámico.

No obstante, como parte de esta investigación se retomaron esos valores y se planteó el modelo de la deserción con las causas más relevantes encontradas.

B. Diagrama Causal

Una vez obtenidas las variables se realizó el diagrama causal (Por la extensión del diagrama, se dividió en sectores por cada semestre – 10 sectores), los cuales se muestran en las figuras No 1 y 2. Dichos diagramas se implementaron utilizando la herramienta Evolución 3.5 [4].

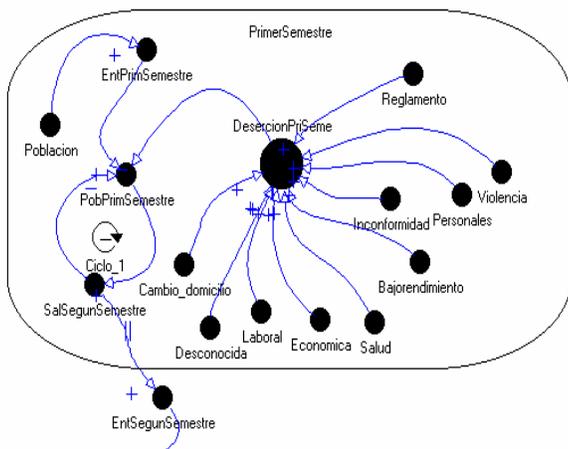


Fig. 1: Diagrama Causal para Primer Semestre

Como se puede observar, el diagrama causal tiene para cada sector un bucle de realimentación

negativo que se da entre las variables de población del nivel y salida del nivel.

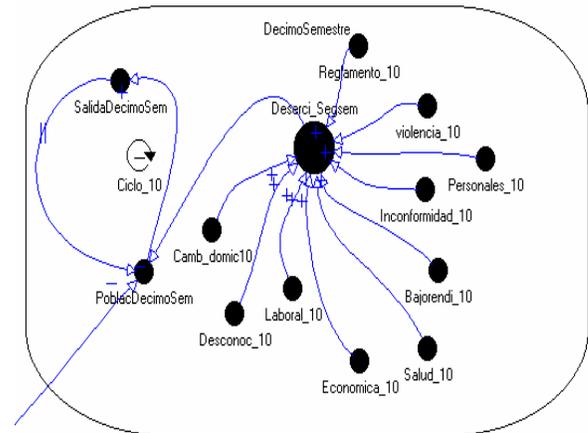


Fig. 2. Diagrama Causal para Décimo Semestre

Para cada uno de los semestres los bucles de realimentación negativa son los siguientes:

- 1) *Primer Semestre:* PobPrimSemestre – SalSegunSemestre – PobPrimSemestre. Población de primer semestre con respecto a la salida al segundo semestre.
- 2) *Segundo Semestre:* PobSegSemestre – SalTercSemestre – PobSegSemestre. Población de segundo semestre con respecto a la salida al tercer semestre.
- 3) *Tercer Semestre:* PobTerSemestre – SalCuartSemestre – PobTerSemestre. Población de tercer semestre con respecto a la salida al cuarto semestre.
- 4) *Cuarto Semestre:* PobCuartSemestre – SalQuintoSemestre – PobCuartSemestre. Población de cuarto semestre con respecto a la salida al quinto semestre.
- 5) *Quinto Semestre:* Poblac_quinsem – Salidasextosemes – Poblac_quinsem. Población de quinto semestre con respecto a la salida al sexto semestre.
- 6) *Sexto Semestre:* Pob_Sextosemes – SalidaSeptimosem – Pob_Sextosemes. Población de

sexto semestre con respecto a la salida al séptimo semestre.

7) *Séptimo Semestre:* $PoblacSeptSem - SalidOctavosem - PoblacSeptSem$. Población de séptimo semestre con respecto a la salida al octavo semestre.

8) *Octavo Semestre:* $PobOctavosem - SalidNovenosem - PobOctavosem$. Población de octavo semestre con respecto a la salida al noveno semestre.

9) *Noveno Semestre:* $PoblacNovenosem - SalidDecimosem - PoblacNovenosem$. Población de noveno semestre con respecto a la salida al décimo semestre.

10) *Décimo Semestre:* $PoblacDecimosem - SalidaDecimosem - PoblacDecimosem$. Población de décimo semestre con respecto a la graduación.

Las variables tenidas en cuenta como posibles causas de la deserción cambian de acuerdo al semestre modelado. Teniendo en cuenta las estadísticas de UCC en cifras las causas que más se presentan son:

- 1) *Personales:* Estudiantes que desertaron por problemas familiares o de índole personal.
- 2) *Violencia:* Estudiantes que desertaron por desplazamiento.
- 3) *Laboral:* Estudiantes que desertaron por implicaciones laborales o por requerimientos de las empresas donde trabajaban
- 4) *Económica:* Estudiantes que desertaron porque su situación económica no les permitía continuar o por no poder pagar el semestre.
- 5) *Cambio de domicilio:* Estudiantes que desertaron por tener que irse de la ciudad.

6) *Salud:* Estudiantes que desertaron porque sus condiciones de salud (enfremedades) no les permitían continuar.

7) *Bajo rendimiento académico:* Estudiantes que desertaron porque su rendimiento académico disminuyó.

8) *Inconformidad:* estudiantes que desertaron porque el programa académico no cumplía con sus expectativas.

9) *Desconocida:* estudiantes que no manifestaron la causa de su deserción.

10) *Reglamento:* Estudiantes que desertaron por agredir el reglamento estudiantil.

C. Diagrama de Forrester [5]

A partir del diagrama causal se desarrolló el primer prototipo del diagrama de Forrester el cuál tenía aproximadamente 145 variables. Los sectores correspondientes a primer y décimo semestre se muestran en las fig. No 3 y 4.

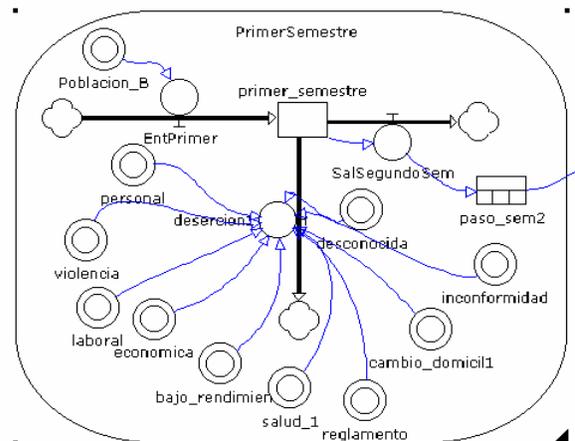


Fig. 3: Diagrama de Forrester para Primer Semestre

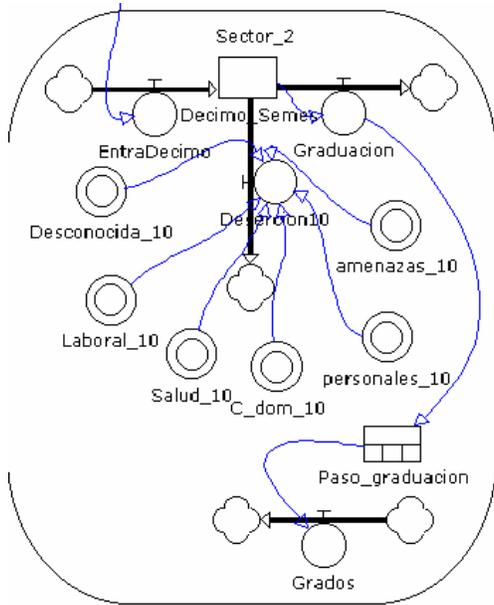


Fig. 4: Diagrama de Forrester para Décimo Semestre

D. Sistema de Ecuaciones

De acuerdo con el diagrama de Forrester se plantó el sistema de ecuaciones que para la deserción de primer semestre correspondía a:

Eq. (1)

$$\begin{aligned} desercion1 = & personal1 + laboral1 + economical \\ & + desconocida1 + salud1 + cambio_domicilio1 \\ & + bajo_rendimiento1 + reglamento1 + violencial \\ & + inconformidad1 \end{aligned}$$

Y para Décimo semestre a:

Eq. (2)

$$\begin{aligned} desercion10 = & laboral10 + salud10 + cambio_domicilio10 \\ & + personales10 + desconocidas10 + violencia10 \end{aligned}$$

Este sistema de ecuaciones se repite para cada uno de los semestres, teniendo en cuenta las causas que se presentan o dejan de presentar en cada uno de ellos. Por ejemplo, como se puede observar en el sistema de ecuaciones para décimo semestre, las causas que tienen que ver con el reglamento, el bajo rendimiento, la inconformidad y la económica no afectan el sistema.

Las demás ecuaciones del escenario por defecto se describen a continuación.

1) Variables Exógenas

- Población de Barrancabermeja:** Población en Barrancabermeja susceptible a estudiar en la universidad Cooperativa de Colombia. INTSPLINE(0,0,6,43,33,37,27,12,56,48,26,28,28,12,0)
- Causas Personales:** Estas causas cambian dependiendo del semestre. Los datos para cada uno se describen a continuación:
 - < Primer semestre: INTSPLINE(0,0,6,0,1,0,0,2,0,3,0,1,2,0,0)
 - < Segundo semestre: INTSPLINE(0,0,6,0,1,0,0,2,0,3,0,1,2,0,0)
 - < Tercer semestre: INTSPLINE(0,0,6,1,0,1,0,0,0,0,0,1,1,1,0)
 - < Cuarto semestre: INTSPLINE(0,0,6,1,0,1,0,0,0,0,0,1,1,1,0)
 - < Quinto semestre: INTSPLINE(0,0,6,0,1,0,0,2,0,3,0,1,2,0,0)
 - < Sexto semestre: INTSPLINE(0,0,6,0,1,0,0,2,0,3,0,1,2,0,0)
 - < Séptimo semestre: INTSPLINE(0,0,6,1,0,0,0,0,0,1,0,2,0,3,0,2)
 - < Octavo semestre: INTSPLINE(0,0,6,0,1,0,0,2,0,3,0,1,2,0,0)
 - < Noveno semestre: INTSPLINE(0,0,6,0,10,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0)
 - < Décimo semestre: INTSPLINE(0,0,6,0,10,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0)

De igual forma se describieron las causas que tenían que ver con violencia, laboral, económica, bajo rendimiento académico, salud, condiciones reglamentarias, cambios de domicilio, inconformidad o desconocida.

2) *Flujos*

A. *Entrada a Primer Semestre:* Corresponde a la cantidad de personas que entran cada semestre a primero. Es directamente proporcional a la población susceptible de ingresar a la universidad.

B. *Salida a Segundo Semestre:* Cantidad de estudiantes que logran pasar a segundo semestre. Es directamente proporcional a la cantidad de estudiantes que quedan en primer semestre después de la deserción.

De manera similar se definen cada uno de los flujos que llevan la información desde cada uno de los semestres a los semestres posteriores.

3) *Retardos*

A. *Paso Semestre 2:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al segundo semestre después de estar en el primer semestre. RETARDO(SalSegundoSem,6,3,30)

B. *Paso Semestre 3:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al tercer semestre después de estar en el segundo semestre. RETARDO(SalidaTercSem,6,3,0)

C. *Paso Semestre 4:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al cuarto semestre después de estar en el tercer semestre. RETARDO(SalidCuarto,6,3,30).

D. *Paso Semestre 5:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al quinto semestre después de estar en el cuarto semestre. RETARDO(SalidQuinto,6,3,30).

E. *Paso Semestre 6:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al sexto semestre después de estar en el quinto semestre. RETARDO(SalidSexto,6,3,30).

F. *Paso Semestre 7:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al séptimo semestre después

de estar en el sexto semestre. RETARDO(SalidSeptimo,6,3,30).

G. *Paso Semestre 8:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al octavo semestre después de estar en el séptimo semestre. RETARDO(SalidOctavo,6,3,30)

H. *Paso Semestre 9:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al noveno semestre después de estar en el octavo semestre. RETARDO(SalidNoveno,6,3,30).

I. *Paso Semestre 10:* Tiempo que demora un estudiante en pasar al décimo semestre después de estar en el noveno semestre. RETARDO(SalidDecimo,6,3,30).

J. *Paso Graduación:* Tiempo que aproximadamente demora un estudiante en graduarse después de haber pasado el décimo semestre. RETARDO(Graduacion, 12,3,14)

4) *Niveles*

A. *Primer Semestre:* Cantidad de estudiantes en primer semestre. 22 Estudiantes.

B. *Segundo Semestre:* Cantidad de estudiantes en segundo semestre. 34 estudiantes.

C. *Tercer Semestre:* Cantidad de estudiantes en tercer semestre. 18 estudiantes.

D. *Cuarto Semestre:* Cantidad de estudiantes en cuarto semestre. 20 estudiantes.

E. *Quinto Semestre:* Cantidad de estudiantes en quinto semestre. 25 estudiantes.

F. *Sexto Semestre:* Cantidad de estudiantes en sexto semestre. 24 estudiantes.

G. *Séptimo Semestre:* Cantidad de estudiantes en séptimo semestre. 20 estudiantes.

H. *Octavo Semestre:* Cantidad de estudiantes en octavo semestre. 28 estudiantes.

I. *Noveno Semestre.* Cantidad de estudiantes que hay en noveno semestre. 18 estudiantes.

J. *Décimo Semestre:* Cantidad de estudiantes que hay en décimo semestre. 14 estudiantes.

E. Simulación

Por último se graficaron los resultados por semestre y el paso de los estudiantes a través de los 10 semestres teniendo en cuenta la deserción estudiantil en cada uno de ellos, dichas gráficas se muestran en la figuras No 5 y 6.

Comportamiento Población Estudiantil

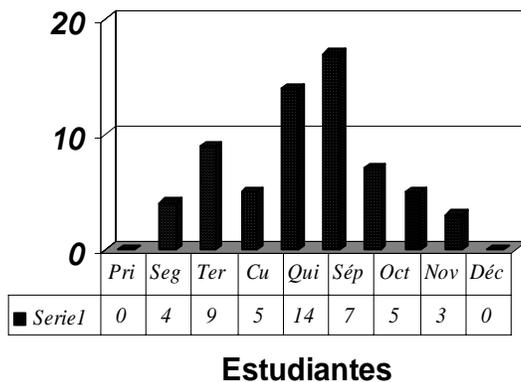


Fig. 5: Comportamiento de la Población Estudiantil a partir del I semestre de 2005

La figura 5 nos muestra el comportamiento de la población estudiantil a partir del I semestre de 2005 tomando como consideración la ausencia de estudiantes para abrir primer nivel.

Teniendo en cuenta los índices de deserción presentados durante los últimos siete años, se deben plantear estrategias que impidan el comportamiento predictivo a 5 años que muestra la gráfica y que disminuyan los niveles de deserción.

F. Evaluación Parcial de Resultados

Gracias al estudio realizado con Dinámica de Sistemas se logró tener una perspectiva en términos cuantitativos de la deserción estudiantil y el

comportamiento de la población de estudiantes a partir del I semestre de 2005.

Sin embargo, este estudio es aún más profundo y gracias a un análisis de sensibilidad de las variables que hacen parte del modelo se lograron establecer las mayores causas de deserción estudiantil de primero a sexto semestre para el programa de Ingeniería de Sistemas. Dichas causas son la laboral y el bajo rendimiento académico.

Un comportamiento como este (en términos de lo laboral) es de esperarse teniendo en cuenta el gran requerimiento de mano de obra del contexto social en el cual se encuentra el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Barrancabermeja. El análisis de sensibilidad realizado para el caso en el que la demanda laboral no requiera que los estudiantes se ausenten de las labores académicas se muestra en la figura No 6.

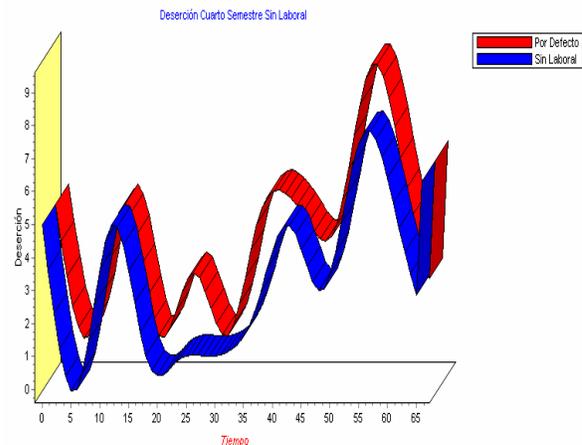


Fig. 6: Análisis de Sensibilidad de la Deserción Estudiantil Sin Causas Laborales

Por otro lado, el bajo rendimiento académico, aunque no es muy pronunciado en el programa de Ingeniería de Sistemas, es la otra causa de mayor peso, razón por la cual se deben plantear estrategias que permitan detectar cuando el estudiante está pasando por una situación que requiera de mayor atención frente a su rendimiento académico. El análisis de sensibilidad en el caso utópico en que no exista deserción por causa del bajo rendimiento académico se muestra en la figura No 7.

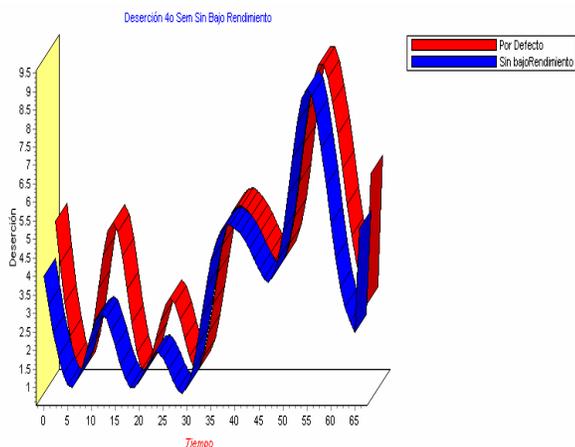


Fig. 7: Análisis de Sensibilidad de la Deserción Estudiantil Sin Causas de Bajo Rendimiento Académico

Sin embargo no deben menospreciarse las demás causas de deserción ya que aunque en baja medida, aún siguen causando disminución en la población estudiantil.

Actualmente se están planteando las posibles estrategias para disminuir la deserción de estudiantes, teniendo en cuenta el modelo realizado en esta investigación y las estadísticas obtenidas durante el I semestre de 2005.

III. CONCLUSIONES

Esta investigación permitió demostrar la utilización de la dinámica de sistemas como metodología y como herramienta para estudiar el complejo sistema de la deserción.

Gracias a esta investigación se logró obtener una aproximación del comportamiento de la deserción estudiantil a partir del I semestre de 2005 y se plantearon estrategias en la búsqueda de su disminución.

Por otro lado se logró realizar un análisis de sensibilidad que bajo situaciones ideales permitió descubrir cuales son las principales causas de la deserción estudiantil en el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Barrancabermeja.

REFERENCIAS

- [1] J. W. Forrester, “Dinámica industrial”. Editorial Ateneo, Buenos Aires. 1981
- [2] Ministerio de educación Nacional. “Condición Mínima Selección y Evaluación de Estudiantes”. Decreto 2566. 2003
- [3] O. Escudero, “Planeación Universitaria. UCC en cifras”. Universidad Cooperativa de Colombia. Barrancabermeja. 1998 – 2001.
- [4] Grupo SIMON de Investigaciones. Evolución 3.5 Beta 21. Universidad Industrial de Santander. 2003.
- [5] Massachusetts Institute of Technology. Proyecto Educativo Dinámica de Sistemas. Monterrey, México. 2000.

Marlene Lucila Guerrero Julio. C.V.: 26 años. Ingeniera de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, docente de tiempo completo de la Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Barrancabermeja, miembro del Grupo de Investigaciones SIMON de la UIS y GIMIA de la UCC. Encargada de la Unidad de Asesoría Pedagógica y asesora del comité de investigaciones del programa de Ingeniería de Sistemas, responsable de los proyectos institucionales y de los programas Vinculación universidad Contexto, Modelo Gerencial, Actualización y Renovación Curricular y TIC's para la Gestión Universitaria.

Lizeth Navive Rodríguez Prada. 19 años. Estudiante de séptimo semestre de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Barrancabermeja. Auxiliar de la Unidad de Información y Documentación de la misma universidad.

Modelo para el Desarrollo de Emprendimiento en estudiantes de Educación Media

Rodríguez Valbuena, Luisa Fernanda.

luisa_frv@yahoo.com

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Abstract— This paper presents a model developed in systems dynamics, which it allows to describe the behavior in the time of the entrepreneurship and associability phenomena, like complementary mechanism to the intervention plan or qualification program in teachers and students at the involved schools. This intervention plan was based on the promotion of the associability and the competitions for the entrepreneurship, like tool for the improvement of the High School Education, and looked for as well to hit in communities of high socioeconomic vulnerability.

Key words— associability, entrepreneurship, systems dynamics.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una amplia proporción de jóvenes que egresan de la educación media deben enfrentarse a la búsqueda de empleo y a la inminente necesidad de generar ingresos para su subsistencia y la de sus familias, sin haber recibido una formación orientada para ello. El sector educativo, debe enfrentar esta situación, además de asegurar el desarrollo pleno de los jóvenes como personas y ciudadanos, asumir responsabilidades concretas para facilitar su vinculación al mundo del trabajo. Esto se está realizando mediante diversas alternativas que combinan la formación de competencias en todas las instituciones educativas y el acercamiento al sector productivo, con el objetivo de asegurar la calidad y la pertinencia de dicha formación.

El presente trabajo se ha desarrollado partiendo del estudio titulado “Diseño del plan estratégico para el desarrollo de capacidad emprendedora y asociativa en estudiantes de colegios oficiales de Bogotá”, realizado para la Universidad Autónoma de Colombia, y busca brindar una herramienta

sistémica complementaria al mismo. Esta investigación se ha llevado a cabo en dos colegios oficiales de Bogotá, la Institución Educativa Distrital (IED) Aquileo Parra y la IED Rafael Uribe Uribe, pretende mediante un estudio de casos focalizados, diseñar e implementar un modelo integrado apoyado en dinámica de sistemas para la comprensión y análisis de los fenómenos de emprendimiento y asociatividad en los estudiantes de la Media Vocacional en dichos colegios.

II. METODOLOGÍA

Como se trata de una población focalizada, donde el propósito es caracterizar intensamente sujetos o situaciones únicas para identificar competencias y necesidades latentes se utilizó la metodología del Estudio de Caso complementado con la dinámica de sistemas cuyos “resultados revelan implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo” [1], adecuada para el análisis casuístico y descriptivo de comportamientos y situaciones específicas.

El estudio tomado como base inició con la caracterización de la población de jóvenes de la media vocacional en ambas instituciones mediante la aplicación de encuestas, test, dinámicas y entrevistas como estudio piloto para obtener los parámetros y valores iniciales de los niveles de asociatividad y emprendimiento del modelo dinámico a diseñar a la vez que determinar las bases del plan de intervención a proponer.

Se realizó en cada curso objeto de estudio la determinación de los niveles de asociatividad y de la estructura de red, usando el análisis de redes

sociales mediante la utilización del paquete Ucinet para Windows.

Partiendo de esta información se determinaron los círculos causales estructurales de los fenómenos de emprendimiento y asociatividad y se desarrolló el modelo dinámico que describiera su comportamiento.

Debido a la naturaleza del proyecto y a la metodología utilizada, la medición de la capacidad emprendedora se realizó en la totalidad de estudiantes de grados 10 y 11 del IED Rafael Uribe e IED Aquileo Parra – Jornada Mañana a Junio de 2004, en una primera etapa cuantitativamente aplicando una encuesta a los 389 estudiantes lo que permitió detectar los cuatro factores para el emprendimiento y la asociatividad como base para la categorización de los jóvenes. Adicionalmente, permitió adelantar la base de datos de estudiantes en cada colegio y la información sobre antecedentes familiares de emprendimiento, sirvió además para establecer los parámetros o variables independientes del modelo dinámico. Paralelo a lo cual se realizó la revisión de los PEI y programas de Gestión empresarial en cada institución.

El Instituto Educativo Distrital IED Aquileo Parra es un centro de concentración representativo dentro de la localidad 1 de Usaquén ubicado en el barrio Verbenal, cra 36B No. 187-71, (nororiente de la ciudad) alberga población (aproximadamente 4000 familias) de 6 de las 7 unidades de planeación zonal UPZs que presentan estrato 1 y 2, cubre también en gran porcentaje la población en estos estratos de la UPZ San José de Bavaria de la localidad de Suba (anexo mapas de UPZs). El IED Rafael Uribe Uribe localizado en la localidad de Tunjuelito y UPZ del mismo nombre también es representativo dentro del sector, está ubicado en el barrio Claret, Cra. 25 No. 47-00 sur, formando parte del complejo educativo de Ciudad Tunal (suroccidente de Bogotá). Tunjuelito puede calificarse como localidad de jóvenes, ya que el rango de edad menor de 30 años representa el 60,8% de la población. La población en estrato 1 y 2 representa el 61% del total de habitantes de la localidad.

La ficha técnica de la encuesta aplicada se presentan en la Tabla

Tabla I:
Ficha técnica de encuesta aplicada. Fuente [9].

Población	Totalidad estudiantes de grados 10 y 11 IED Rafael Uribe e IED Aquileo Parra – Jornada Mañana a Junio de 2004
Tamaño	389 estudiantes
Edades*	Entre 12 y 20 años
Género*	175 Jóvenes y 214 Jovencitas
Grado de escolaridad	10 y 11 (Media Vocacional)
Estrato Socioeconómico	1,2 y 3

La Fig. 1 muestra la distribución de la población por edades.

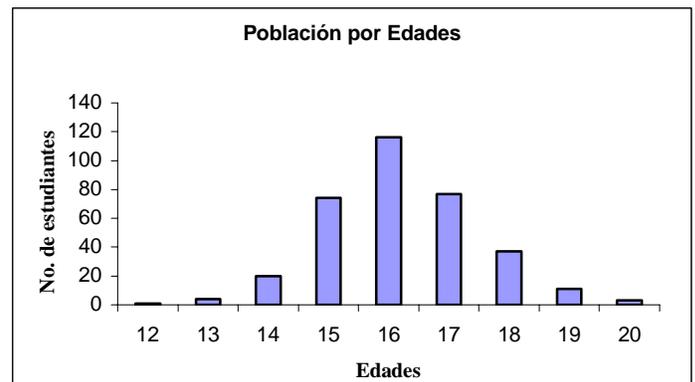


Fig.1: Distribución de población por edades. Fuente [9].

Con los resultados obtenidos por abordaje cualitativo, como parte del trabajo de campo se pudo medir otras variables como Liderazgo, Comunicación, Trabajo en equipo, Resolución de problemas complejos, Negociación, Honestidad, Responsabilidad, Compromiso, Constancia, Tenacidad y Auto-confianza, utilizando métodos cualitativos como talleres-dinámicas, test de personalidad y test proyectivos.

En la segunda etapa se profundizó en los resultados obtenidos en la primera trabajando a través de Talleres de Creatividad, Comunicación, y Cooperación, el fortalecimiento de las competencias en emprendimiento y asociatividad de los estudiantes, a través de esta etapa se pudo interactuar de manera directa con los estudiantes en las aulas mediante los espacios cedidos por las docentes de Gestión Empresarial y en el caso del

Rafael Uribe con la intervención directa de la docente quien adelantó las actividades con sus estudiantes.

La tercera fase se adelantó definiendo un grupo de 15 estudiantes emprendedores en cada colegio con los cuales se trabajó en horarios extraclase, durante ocho sesiones. Para lograr contrastar y definir los desempeños emprendedores a la vez que desarrollar en ellos de manera focalizada su potencial emprendedor. Al finalizar la capacitación como producto se obtuvo un proyecto o idea de negocio por cada colegio, el objetivo es que dicho proyecto se convierta en una empresa.

En la cuarta fase se procedió a diseñar el modelo de simulación dinámica que permitiera describir y analizar el comportamiento de los fenómenos de emprendimiento y asociatividad desde la intervención realizada, así como proponer el plan académico para el fortalecimiento del potencial emprendedor en los estudiantes de los colegios elegidos.

III. CONSIDERACIONES INICIALES

Los fenómenos de emprendimiento y asociatividad en los estudiantes de las instituciones de educación media del Distrito Capital mencionadas “por ser de naturaleza social conllevan gran complejidad al pretender la representación del comportamiento humano” adicional a “la no-linealidad presentada, surgida en razón a la limitación en recursos y políticas, puede ser representada mediante ecuaciones diferenciales” [2] hacen de la dinámica de sistemas una buena herramienta para el modelamiento del sistema en el tiempo, que permita simular los posibles y tenues cambios de las variables que inciden en su presencia, determinando la magnitud y mejores escenarios para su surgimiento y sostenibilidad desde las aulas de educación media.

“El ser humano de manera permanente y en cada una de las etapas de su vida se plantea tareas, objetivos y de forma más ambiciosa, intencional y consciente, proyectos que tendrán la función de orientar su existencia, jalonar el desarrollo de su personalidad y de manera esencial contribuir a la

realización del sentido de su vida. Una proporción importante de los seres humanos empieza a plantearse conscientemente sus proyectos al final de sus estudios secundarios o al final de la adolescencia, el rumbo que le darán a sus vidas en aspectos académicos y laborales, especialmente. En estas edades tienden a concretar los ideales que intentarán desarrollar en las siguientes etapas de su vida” [3]. Razón por la que el estudio se adelantó con jóvenes de la media vocacional.

“El proyecto de vida es un momento ideal que expresa lo que el individuo quiere ser, como una disposición real de sus posibilidades internas y externas de lograrlo y de darle forma precisa en el curso de su actividad”. [4]. “La idea de la educación empresarial es poder brindar al ser humano las capacidades y habilidades necesarias para que sea un factor de desarrollo económico y social, creador, líder, original, arriesgado, visionario que logra satisfacer sus metas personales por su propia acción, la cual puede o no devenir en el nacimiento de una empresa”. [5]

El *emprendimiento* se ha definido como la capacidad que tiene una persona para formularse proyectos de vida alcanzables mediante la realización de acciones presentes que garanticen su logro (*consistencia en los proyectos de vida*). La *asociatividad* se considera como un componente del emprendimiento porque garantiza la efectividad de las interacciones que pueda establecer el emprendedor con su comunidad develándole el sentido compartido de los objetivos a alcanzar en ambientes cooperativos y de aprendizaje sostenido [6].

“En los países democráticos la ciencia de la asociación es la ciencia madre; el progreso de todo lo demás depende de ella” [7]. “El primer paso para superar la pobreza en una localidad, región o sociedad es crear y fortalecer las organizaciones. Uno de los indicadores de pobreza más severos es no estar organizado” [8].

Refiriéndose al Estudio Monitor realizado para Bogotá por Michel Porter en 1997, sostiene [9]: “Ese estudio nos dejó en claro que las ciudades no son solo infraestructura, sino modelos mentales en quienes las hacen suyas. Y es en la educación temprana donde uno decide su vocación de vida. Es

crear un imaginario base para ser empresario, creer que sí es posible ser empresario en la realidad".

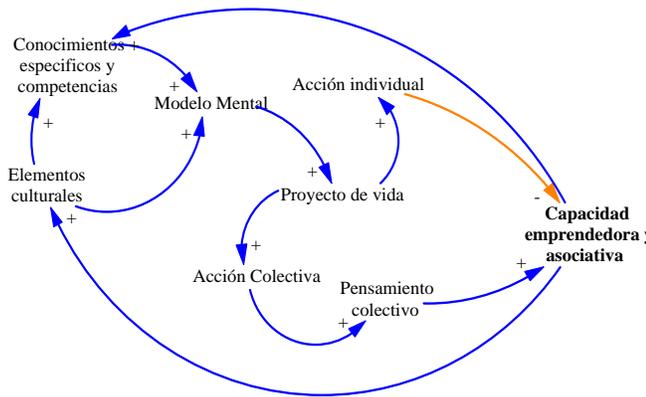


Fig. 2: Ciclo para el emprendimiento positivo. (*)

En modelo causal de la Figura 2 se observa como el modelo mental que trae cada individuo, se fundamenta en los conocimientos específicos adquiridos, las competencias y los elementos culturales, que le permitirán concebir su proyecto de vida, el cual contribuirá de manera más o menos efectiva en potenciar su capacidad emprendedora y asociativa dependiendo de la disposición que tenga frente al trabajo colectivo, mayor disposición hacia la acción colectiva determina mayor posibilidad de desarrollo.

En el presente trabajo se aplicó también el Análisis de Redes Sociales (ARS), disciplina en la que “se describen y estudian las estructuras relacionales que surgen cuando diferentes organizaciones o individuos interactúan, se comunican, coinciden, colaboran etc., a través de diversos procesos o acuerdos, que pueden ser bilaterales o multilaterales; de este modo la estructura que emerge de la interrelación se traduce en la existencia de una red social. Las redes sociales son, por tanto, conjuntos de relaciones sociales o interpersonales que ligan individuos u organizaciones en “grupos”. el intercambio, etc., se pueden identificar estructuras relacionales a las que atribuir la emergencia de propiedades sistémicas; ésta estructuras emergentes nos pueden ayudar a comprender, y por tanto a predecir e incluso a gestionar mejor, los resultados de la acción humana” [10]

El estudio de las propiedades sistémicas que emergen del análisis de las relaciones al interior de

las redes sociales se pueden trabajar con la ayuda del álgebra matricial y la teoría de grafos, existen paquetes especializados que facilitan esta labor como el UCINET versión 6 (2002) desarrollado por Borgatti Steven, Martin Everett y Linton Freeman de la UCLA utilizado en el presente estudio. La medición de las propiedades de la red y la posición de los actores se pueden explorar a través de las relaciones algebraicas de la red en conjunto donde una de las más importantes es el grado de centralidad que se define como el número de otros actores a los cuales un actor está directamente unido o es adyacente.

IV. POTENCIAL EMPRENDEDOR

A la población de estudiantes matriculados en los grados 10° y 11° (media vocacional) en cada colegio se les midió y categorizó según los valores registrados en los diferentes componentes de las competencias para el emprendimiento y la asociatividad y la consistencia en el proyecto de vida, en cuatro categorías de estudiantes las cuales al ser influenciadas positivamente por los niveles de asociatividad incrementados por la intervención realizada y el éxito alcanzado por los nuevos empresarios disminuye la brecha o discrepancia que existe entre el número de emprendedores y el total de estudiantes matriculados para la media vocacional; pero a su vez este número de nuevos emprendedores y empresarios no crecerá infinitamente ya que será limitado por el número de estudiantes que se gradúan cada año y los que desertan voluntariamente del programa de intervención (límite al crecimiento del nivel de emprendimiento), generándose un “arquetipo limitador al crecimiento”, donde, “todo proceso de crecimiento tarde o temprano debe cesar. No hay un crecimiento indefinido” [11] tal como el diagrama causal de la Figura 3.

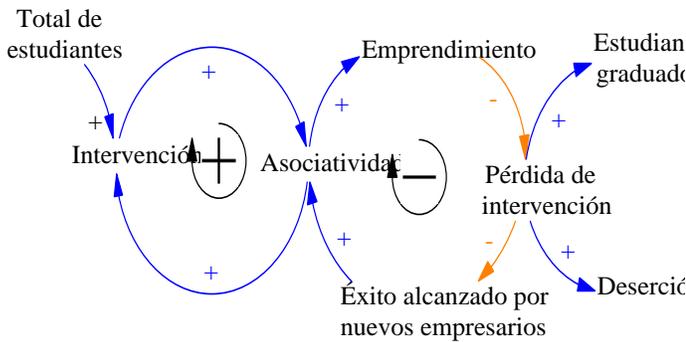


Fig. 3. Modelo de Emprendimiento. (*)

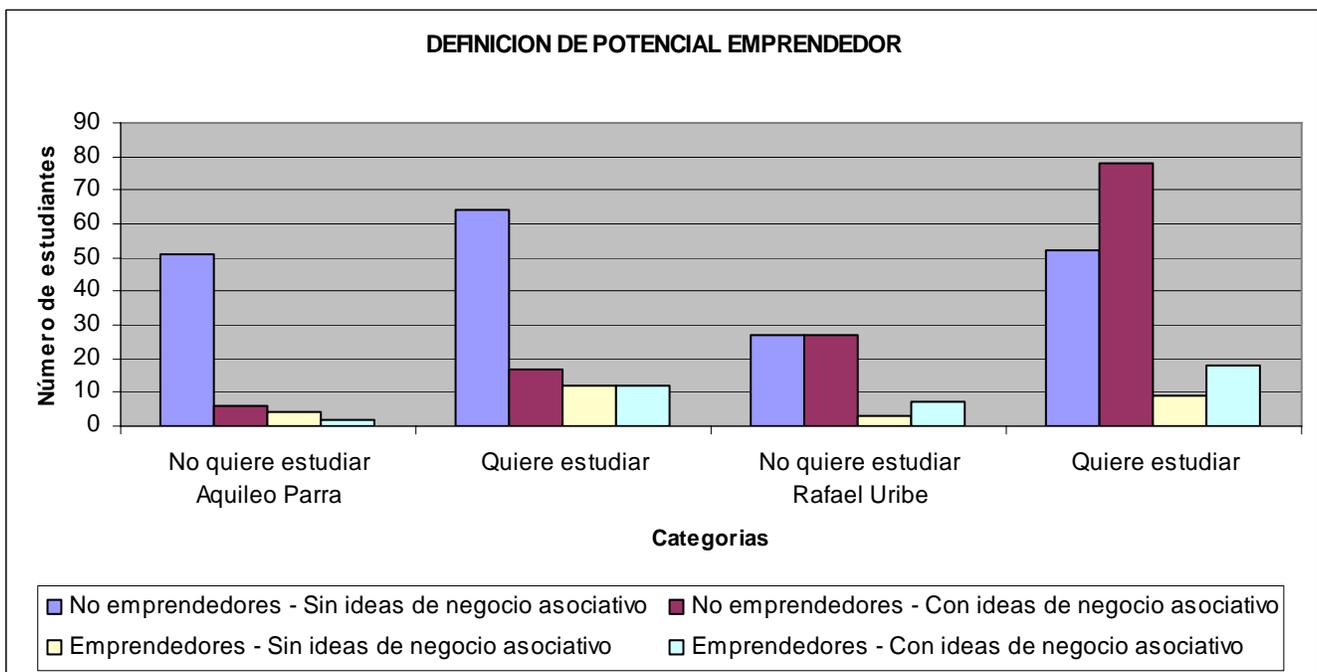
En la Figura 3 el nivel de emprendimiento es producto de la asociatividad alcanzada por los estudiantes luego de realizada la intervención, la cual se incrementa por el éxito alcanzado por los nuevos empresarios y disminuye por los estudiantes que egresan cada año graduados del sistema educativo y por la tasa de deserción del programa de intervención.

El potencial emprendedor se definió en función de la consistencia presentada por los estudiantes respecto a su proyecto de vida, las competencias para el emprendimiento y asociatividad y la disposición y desempeño académico (desean continuar estudiando) mediante la aplicación de cluster análisis, en un estudio considerado como piloto para levantar los valores de los parámetros del modelo, en cuatro grupos o categorías de estudiantes con potencial emprendedor (Figura 4).

Figura 4. Definición de Potencial Emprendedor. Fuente: [9].

El elevado número de estudiantes en la categoría tres del Rafael Uribe obedece a que allí es un requisito exigido para la asignatura de Gestión Empresarial, el presentar un plan de negocio asociativo.

- 1) *Emprendedores con ideas de negocio asociativo.* Es el grupo con mayor potencial emprendedor detectado ya que muestra consistencia elevada entre sus actividades pasadas presentes y futuras (componentes del proyecto de vida). (C1).
- 2) *Emprendedores sin ideas de negocio asociativo.* Corresponde a los estudiantes que habiendo manifestado deseo de ser empresarios han desarrollado alguna actividad comercial por iniciativa propia pero actualmente no tienen ninguna idea de negocio que se pueda adelantar asociativamente. (C2)
- 3) *No emprendedores con ideas de negocio asociativo.* Este grupo muestra baja consistencia en su proyecto de vida, lo que no los cualifica con un alto potencial emprendedor. (C3)
- 4) *No emprendedores sin ideas de negocio asociativo.* Son el grupo más pobre en cuanto a potencial emprendedor se refiere, y como se puede evidenciar en los gráficos de análisis comparativo corresponde a una porción importante de la población. (C4).



V. MODELO DINÁMICO

En la Fig. 5 se presenta el diagrama de Forrester del sistema, elaborado en el paquete VensimPLE 32 versión 4.0d. Donde se entrega el valor inicial del nivel de asociatividad medido con base en el promedio de grado de centralidad por colegio, para los cursos involucrados de 3.125 como porcentaje de asociatividad.

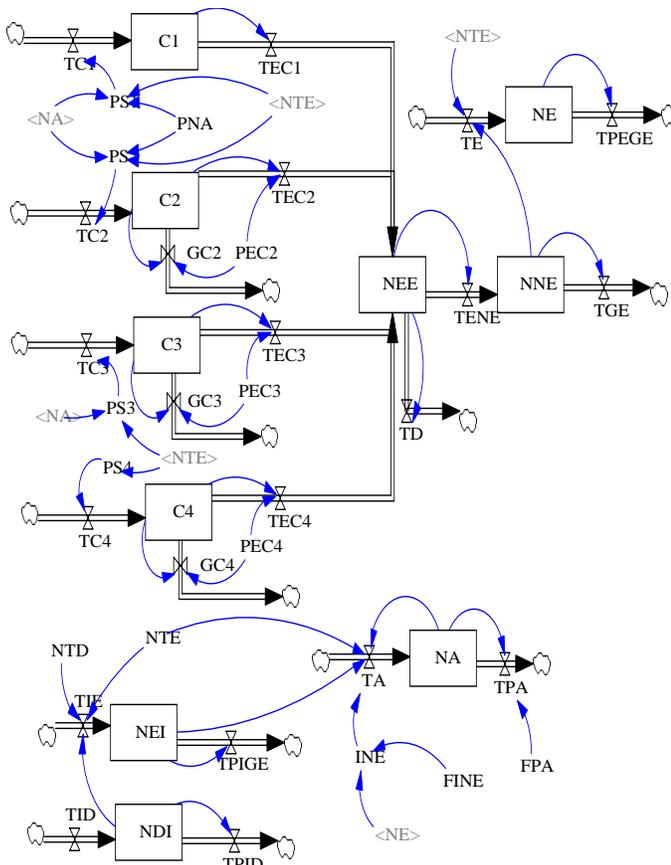


Fig. 5: Diagrama de Forrester del Modelo.(*)

Esquematiza el modelo, donde el nivel o número de estudiantes catalogados como emprendedores es resultado de los niveles reportados en cada categoría los cuales están definidos por la probabilidad detectada para cada grupo, el número total de estudiantes matriculados en los grados 10° y 11° y el nivel de asociatividad como base para el desarrollo del emprendimiento sostenible [12]. La notación de los niveles se presenta en la Tabla 2.

Tabla II. Niveles del modelo (*).

C1	Categoría uno de estudiantes con más alto nivel de emprendimiento
C2	Categoría dos de estudiantes con nivel medio alto de emprendimiento

C3	Categoría tres de estudiantes con nivel medio bajo de emprendimiento
C4	Categoría cuatro de estudiantes con bajo nivel de emprendimiento
NEE	Número de estudiantes emprendedores
NEI	Nivel de estudiantes intervenidos
NDI	Nivel de docentes intervenidos
NNE	Número de nuevos empresarios
NA	Nivel de asociatividad
NE	Nivel de éxito por nuevos empresarios

Tasas:

La notación de las tasas del modelo es mostrada en la Tabla 3:

Tabla III. Tasas del modelo (*).

TC _i	Tasa de estudiantes por categoría
TEC _i	Tasa emprendedores por categoría
TD	Tasa de deserción en la intervención
TENE	Tasa de potenciales empresarios
TGE	Tasa de graduados
TIE	Tasa de intervención en estudiantes
TPIGE	Tasa de pérdida de intervención por grados de estudiantes
TID	Tasa de intervención de docentes
TPID	Tasa pérdida intervención en docentes
TPEGE	Pérdida de éxito por graduados
TE	Tasa de motivación por éxito
TA	Tasa de asociatividad
GC _i	Tasa de graduados por categoría

La notación de los parámetros y variables auxiliares del modelo, estimados con base en la prueba piloto adelantada se presentan en la Tabla 4.

Tabla IV. Parámetros y Variables auxiliares del modelo (*).

FPA	Factor de pérdida de asociatividad
FINE	Factor de impacto nivel de éxito
INE	Impacto de nivel de éxito
PNA	Porcentaje nivel de asociatividad
PS _i	Probabilidad en cada categoría
PEC _i	Porcentaje emprendedores por categoría
NTE	Número total de estudiantes
NTD	Número total de docentes

Los valores de algunos parámetros variaron sensiblemente entre un colegio y otro. El valor del FPA se estimó en 0.02, debido a la naturaleza sinérgica y recursiva del comportamiento de la variable, que determina que la rotación de estudiantes en el sistema no sea un factor decisivo de pérdida de asociatividad. Fue igual para ambos colegios.

El factor FINE se estimó también con base en el hecho de que si bien es cierto que el nivel de éxito alcanzado por los estudiantes al convertirse en potenciales empresarios mediante la elaboración de planes de negocio financiables impacta positivamente la asociatividad, no es decisivo en su consolidación. Asignándole un valor de 0.02. Se consideró como de igual magnitud en ambos colegios.

La variable auxiliar (INE) se calculó como $FINE \cdot (1 + NE)$ para atenuar el impacto generado por el nivel de éxito sobre la asociatividad.

El porcentaje del nivel de asociatividad (PNA) que afecta el nivel emprendedor desarrollado por los estudiantes, se estimó como del 20% para las categorías 1 y 2 en las que se observó que existía una moderada correlación entre el potencial emprendedor y la asociatividad existente.

La probabilidad de pertenecer a cada categoría (PS_i) fue evaluada con base en el estudio piloto a partir del número de estudiantes clasificados en cada categoría entre el total de estudiantes evaluados en cada colegio, varió según cada caso. En las categorías 1 y 2 esta probabilidad se afectó con el porcentaje de asociabilidad incidente, mientras en la categoría 3 al existir una alta correlación entre la asociatividad (grado de centralidad en el curso) de cada estudiante pertenecientes a esta categoría y el potencial emprendedor alcanzado, se estimó al nivel de asociatividad incidiendo de manera directa en el crecimiento de esta categoría.

El porcentaje de estudiantes por categoría que logran acumular potencial emprendedor (PEC_i) también se evaluó de acuerdo a los resultados obtenidos en el piloto, obteniéndose que en la categoría uno el 100% registra potencial emprendedor, por esta razón esta categoría no se afecta con este parámetro, las siguientes categorías tienen cada vez menos posibilidades de registrar potencial emprendedor hasta llegar a la categoría 4 con la menor posibilidad de aportar estudiantes emprendedores al sistema. Varió de acuerdo a cada colegio.

El número total de estudiantes y de docentes varió de acuerdo a cada colegio. En el Aquileo Parra se trabajó con 168 estudiantes y 55 profesores mientras que en el Rafael Uribe con 221 estudiantes y 72 profesores.

VI. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

La clasificación de los cuatro grupos de estudiantes según su nivel de emprendimiento fue validada al observar el desempeño académico y personal reportado por la promoción de egresados 2004 en distintos ámbitos.

La Fig. 5 presenta los comportamientos de los diferentes niveles del modelo luego de correr el paquete Vensim. La Figura 5a. representa el comportamiento del niveles de estudiantes emprendedores, donde se observa que a partir del sexto año de intervención se estabiliza en 28 estudiantes emprendedores por año. La Figura 5b. muestra el comportamiento en los nuevos empresarios, que permite pensar en que al octavo año de intervención sostenida se podrán formar 12 potenciales empresarios por año (asociados y con planes de negocio financiables o funcionando). La Figura 5c. representa el crecimiento del porcentaje de éxito generado por los nuevos empresarios y por último la Figura 5d. muestra la evolución del nivel de asociatividad, que a diferencia de los otros niveles que registran el comportamiento típicos del arquetipo de límite al crecimiento este presenta el comportamiento de bucle de realimentación positiva creciente.

Las categorías constituyen la brecha entre el número total de estudiantes matriculados y el número de estudiantes emprendedores, son las que filtran el nivel de emprendimiento alcanzado.

Todos los estudiantes que se clasifican en la categoría uno de emprendimiento son catalogados como emprendedores y se consideran como potenciales nuevos empresarios, así se gradúen y salgan del sistema educativo o dejen de ser intervenidos por esto no registran tasa de salida por graduación.

La categoría cuatro de más bajo nivel de emprendimiento no es afectada por el nivel de asociatividad a diferencia de las otras categorías,

debido a que la posibilidad de convertirse en emprendedores en esta categoría depende únicamente de la probabilidad detectada en el estudio adelantado, confirmada por la alta resistencia presentada en este grupo durante el proceso piloto de intervención realizado.

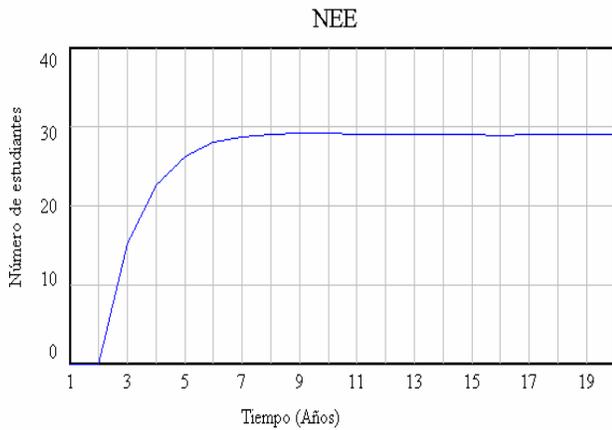


Fig. 5a: Nivel de Estudiantes Emprendedores

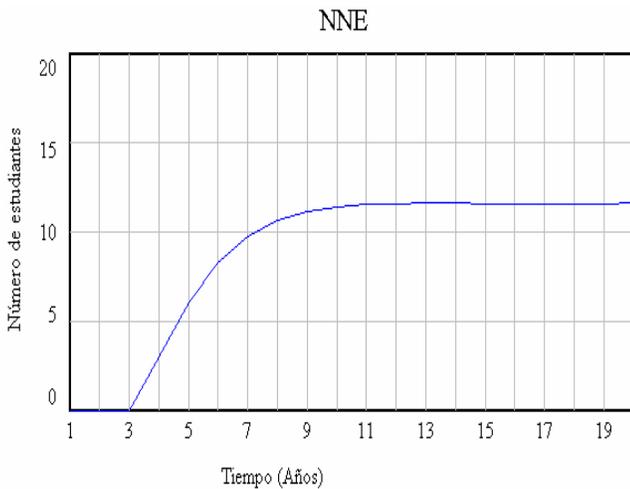


Fig. 5b. Nivel de Nuevos Empresarios

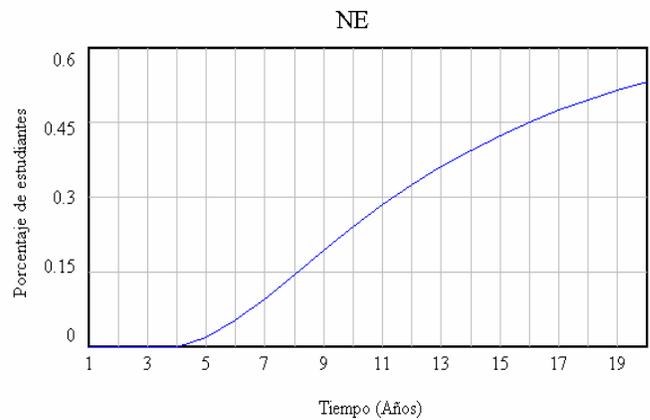


Fig. 5c. Nivel de Éxito alcanzado

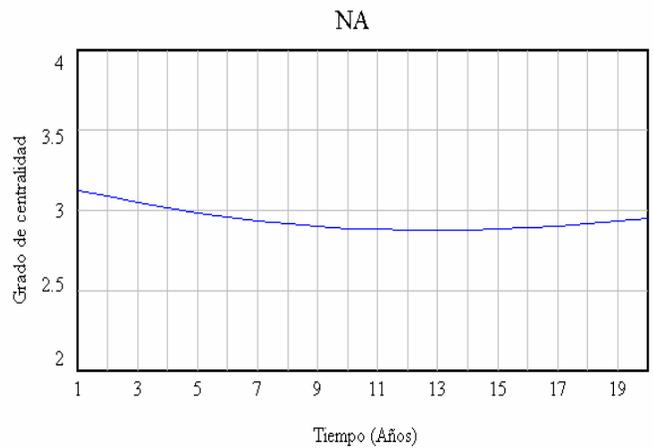


Fig. 5d: Nivel de Asociatividad

Fig. 5. Comportamiento de los niveles. (*)

La alta correlación presentada entre asociatividad y emprendimiento en la categoría 3, convierte a esta categoría en la más atractiva para desarrollar asociatividad, confirmando la importancia que tiene el motivar la asociación y organización como motor de progreso en una comunidad.

Las categorías constituyen la brecha entre el número total de estudiantes matriculados y el número de estudiantes emprendedores, son las que filtran el nivel de emprendimiento alcanzado.

VII. CONCLUSIONES

Los valores de los niveles para un intervalo de simulación de 1 a 20 años y un dt (paso de simulación) de 1, tienden a estabilizarse observando el comportamiento típico de arquetipo de límite al crecimiento, a excepción de la asociatividad la cual es acumulativa, cuyo efecto reforzador explica su importancia en los procesos de fomento de capital

social y humano. “Es decir, a medida que los subsistemas aprenden a funcionar como un todo y recursivamente se integran, son observables mejores resultados a aquellos alcanzables por subsistemas independientemente.” [13].

La tasa de intervención del modelo es la variable independiente del sistema y es la que determina la velocidad de crecimiento de las demás variables, si se incrementara la tasa de capacitación de docentes por año en un 6 % la velocidad de crecimiento de los niveles de estudiantes emprendedores se incrementaría en un 9 %, llegando a estabilizarse más rápidamente.

APÉNDICE

A continuación se presentan las funciones de las variables y tasas del modelo desarrollado para el colegio Aquileo Parra:

Niveles:

Tabla V. Funciones de los niveles del modelo (*).

C1	$\int_0 (TC1 - TEC1)dt$
C2	$\int_0 (TC2 - TEC2 - GC2)dt$
C3	$\int_0 (TC3 - TEC3 - GC3)dt$
C4	$\int_0 (TC4 - TEC4 - GC4)dt$
NEE	$\int_0 (TEC1 + TEC2 + TEC3 + TEC4 - TD - TENE)dt$
NEI	$\int_0 (TIE - TPIGE)dt$
NDI	$\int_0 (TID - TPID)dt$
NNE	$\int_0 (TENE - TGE)dt$
NA	$\int_0 (TA - TPA)dt$ 3.125

NE	$\int_0 (TE - TPEGE)dt$
----	-------------------------

Tasas:

Tabla VI. Funciones de las tasas del modelo (*).

TC _i	168*PS1
TD	0.8*NEE
TENE	0.2*NEE
TGE	NNE/2
TIE	NTE*NDI/NTD
TPIGE	NEI/2
TID	2
TPID	NDI*0.1
TPEGE	NE*0.1
TE	NNE/NTE
TA	INE*NA*NEI/NTE

RECONOCIMIENTO

F. A. agradecimientos de la autora a los docentes Leonardo José González y Fabiola Sáenz de la Universidad Distrital y a la profesora Gloria Elena Peña de la Universidad Nacional de Medellín por sus constantes aportes al presente trabajo.

REFERENCIAS

(*). Todas las gráficas y tablas presentadas fueron realizada por la autora como producto del análisis realizado.

- [1] P. Senge. *Fifth Discipline*. Primera Edición. Ed. Doubleday. New York, U.S.A., 1990
- [2] I. Dyner. *Dinámica de sistemas y simulación continua en el proceso de planificación*. Primera edición, COLCIENCIAS. Bogotá, Colombia, 1993, p. 29
- [3] Lev Semiónovich, Vygotsky. *Obras Escogidas*. Tomo IV. Quinta edición, editorial pedagógica. Madrid, España, 1984, p. 427
- [4] O. D’Angelo. *Autorrealización de la personalidad: aplicaciones en la esfera de la vida profesional*. Segunda edición, editorial académica. La Habana, Cuba, 1996, p. 115.

- [5] J. E. Jiménez. *El Desarrollo del Espíritu Empresarial en las universidades de Cali*. 1992. disponible en <http://lanic.utexas.edu/pyme/esp/publicaciones/biblioteca/itcr/cali.html>.
- [6] L. F. Rodríguez. *Diseño del plan estratégico para el desarrollo de la capacidad emprendedora y asociativa basado en competencias en colegios oficiales de Bogotá*. ISP, Universidad Autónoma de Colombia, Bogotá, Colombia, 2004.
- [7] A. Tocqueville. *La Democracia en América*. Primera edición, editorial orbis. Barcelona, España, 1969, p.198
- [8] J. B. Toro. *El ciudadano y su papel en la construcción de lo social*. Primera edición, Centro editorial Javeriano. Bogotá, Colombia, 2000, p.15
- [9] J. Rubio “¿Cómo crear mi empresa?”, Oct. 29 de 2003, Agenda y Novedades. COLCIENCIAS disponible en <http://www.colciencias.gov.co/agenda/pn133.html>
- [10] L. Sanz, *Análisis de Redes Sociales: como representar las estructuras sociales subyacentes*. Apuntes de Ciencia y Tecnología, No. 7, junio. Bogotá. p.22. 2003.
- [11] J. Aracil *Dinámica de Sistemas*. Primera edición, Isdefe. Madrid, España, 1995, p. 29
- [12] M. Porter. “*Clusters and the new economics of competition*”, Harvard Business Review, Volume 76, Issue 6, Boston. Nov/Dec. 1998, pp. 77-90
- [13] R. Zarama. *Programa Curso de Redes Sociales*. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia, 2004

Luisa Fernanda Rodríguez Valbuena

Ingeniera Industrial y candidata a Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital. Docente investigadora en el Instituto Superior de Pedagogía de la Universidad Autónoma de Colombia y miembro del Grupo de Investigación en Gestión e Innovación Tecnológica GEIT de la Universidad Distrital.

Bases para diseñar un modelo de financiamiento de los Estudios Superiores en Chile

Schaffernicht, Martin; Schmal, Rodolfo; Ruiz, Reinaldo; Donoso, Sebastian
{martin,rschmal,rruiz,sdonoso}@utalca.cl
Universidad de Talca

Resumen— Los esfuerzos por mejorar el acceso igualitario a la educación superior enfrentan en la actualidad el desafío de contar con una suficiente disponibilidad de recursos para estudiar por parte de las familias y el Estado. Desde el año 1990 Chile ha hecho un esfuerzo significativo por elevar su gasto en educación y, particularmente en educación superior, proceso que ha sido exitoso pero fundamentalmente basado en un fuerte aporte familiar. Los resultados alcanzados muestran que esta situación está llegando a su punto de saturación. La sociedad chilena tendrá que debatir sobre los caminos que se adoptarán para enfrentar este problema, sea por la vía de un mercado regulado o por otros procesos, lo que implica revisar esquemas solidarios de financiamiento, que fortalezcan el principio de acceso igualitario.

Este documento se orienta a identificar los factores que inciden en la problemática señalada y, a partir de ello, sentar las bases para establecer el volumen de los recursos y sus opciones de provisión.

Índice de Términos— Pensamiento sistémico, sistema de crédito universitario, efectos a largo plazo

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos diez años en Chile se ha observado una aceleración en la tasa de matrícula de estudiantes universitarios tanto del sistema público como privado. Este crecimiento era predecible por varias razones. En primer lugar, desde hace varios años se ha implementado un conjunto de políticas y programas orientados a ampliar la cobertura de la enseñanza media y a mantener los estudiantes de ese nivel en el sistema educacional, con el fin de asegurar un mayor número de jóvenes egrese de ese nivel. Este objetivo se ha visto fortalecido por la norma constitucional aprobada en el año 2003 que

establece la obligatoriedad de doce años de enseñanza, imponiendo el deber al Estado de proveer los recursos para cumplir este mandato.

En segundo lugar, el aumento en los ingresos de los hogares y la creciente importancia que las familias, particularmente de menores ingresos, otorgan a la educación, han incentivado a los jóvenes a considerar la continuación de estudios en instituciones de educación superior. Materializar esta aspiración, que hasta los primeros años de la década de los noventa se percibía como lejana, es hoy viable para un creciente número de familias pertenecientes a los primeros quintiles socioeconómico (los más pobres).

En tercer lugar, la clara concepción de mercado que impera en todo el sector educación, han generado incentivos para expandir la oferta de cupos y nuevas carreras, lo que a su vez contribuye a lograr que esta demanda potencial encuentre los canales para su realización, conducta que se ve fortalecida por el alto retorno privado que aún muestra la formación universitaria [12]

La expansión de la cobertura y las activas políticas educacionales de los niveles anteriores, particularmente de la educación media, han reducido sustantivamente las brechas que se observan entre los distintos quintiles de ingreso. Aún cuando la demanda en los sectores de mayores ingresos no se ha saturado, el nivel de cobertura que se observa en los quintiles superiores es similar a los promedios que se registra en los países más avanzados. En consecuencia, la expansión de la demanda en educación superior tiende a concentrarse en jóvenes que provienen de los hogares de menores ingresos.

En síntesis, el conjunto de factores mencionados anteriormente, inducen fuertemente a los sectores sociales que han estado excluidos a incorporarse a

la educación superior [1]. En la medida que los jóvenes sienten que han logrado pasar las barreras del ámbito estrictamente educacional y que las dificultades a superar se sitúan en el campo financiero, es esperable que ello se traduzca en una creciente demanda por recursos adicionales para que el sistema de educación superior pueda acogerles.

Por su parte, en el ámbito del Estado y de los agentes políticos que compiten por el gobierno para implementar sus políticas, se ha instalado la convicción que para avanzar hacia mayores niveles de desarrollo, el país debe acrecentar sus esfuerzos en inversión en capital humano, y en iniciativas orientadas a generar condiciones para la innovación y de desarrollo científico y tecnológico, donde es fundamental el componente de una masa laboral más calificada. En consecuencia, dado que la principal fuente de incremento potencial de estudiantes proviene de hogares pertenecientes al tercer quintil, tendencia que probablemente continúe hacia los quintiles inferiores, es posible identificar a lo menos tres desafíos que debe enfrentar el Estado: por una parte, diseñar nuevos instrumentos de financiamiento; segundo, ampliar la disponibilidad de recursos para financiar los estudios de educación superior, y finalmente, diseñar mecanismos de asignación que optimicen su impacto.

El tema del financiamiento puede ser abordado desde diversas perspectivas. En el caso chileno se han privilegiado opciones de mercado postergando la implementación de mecanismos alternativos como una ampliación de las becas, aranceles diferenciados y otros. En la actualidad, no se dispone de un modelo comprehensivo que incorpore un conjunto de factores relevantes y reglas que permitirían determinar el nivel de recursos que sería deseable dedicar al financiamiento de los estudiantes de educación superior. Hasta ahora el debate se ha centrado en opciones de mercado, fundamentalmente a través de líneas de crédito para estudiantes, que a la fecha han operado con los principios de un fondo rotatorio con características muy particulares –las que se analizan más adelante.

El propósito de este trabajo es formular una propuesta que se circunscribe a resolver para el sistema universitario, el segundo desafío enunciado:

identificar los factores y sus relaciones que inciden en la oferta y demanda de recursos que permitan financiar los estudios universitarios.

Si bien el sistema de educación superior chileno contempla diversos niveles (Centros de Formación Técnica, Institutos Profesionales y Universidades), en este trabajo se ha optado por abordar sólo el sistema universitario, dado que es en este nivel donde actualmente se aplica el modelo de financiamiento vía crédito fiscal y por su peso dentro del financiamiento total requerido para el conjunto del sistema. Posteriormente este modelo puede ser replicado en los otros niveles.

El trabajo se organiza en tres secciones: la primera, describe el sistema universitario chileno. La siguiente sección trata el tema del financiamiento de los estudiantes. Finalmente, se presenta el modelo conceptual (causal) del sistema.

II. EL SISTEMA UNIVERSITARIO CHILENO

El actual sistema universitario chileno es de carácter mixto. El número de estudiantes se estima en 350.000 [4], de los cuales aproximadamente 215.000 están matriculados en las universidades adscritas al Consejo de Rectores (identificadas como universidades públicas¹). El resto corresponde a universidades de origen y financiamiento privado, denominadas “extra-consejo”.

El Estado es responsable de una parte importante del financiamiento de las universidades que pertenecen al Consejo de Rectores y, consecuentemente no puede eludir su compromiso con el uso y los resultados que se generan. Considerado en su conjunto los estudiantes de pregrado de las universidades públicas y privadas representan una inversión anual en capital humano cercano a US\$ 800 millones¹. Es altamente probable que este gasto anual en inversión tienda a aumentar no sólo por la incorporación de nuevos estudiantes, sino por la necesidad de mejorar la calidad de la formación.

Desde hace algunos el sistema de financiamiento de los estudios universitarios de pregrado basado en el crédito universitario (solidario) evidencia

¹ Conformadas por 25 planteles, dieciséis estatales, seis universidades católicas y tres corporaciones privadas.

crecientes signos de agotamiento, aumentando la brecha entre la suma total del monto solicitado y el disponible. Esta situación es exacerbada por los mecanismos de recuperación del crédito, que dada la forma como fue definido no garantiza la disponibilidad futura de fondos que se requieren para cubrir las nuevas demandas².

En razón de lo señalado, esta situación se ha tornado crítica, siendo uno de los principales focos de discordia entre el gobierno, las autoridades universitarias y los estudiantes, problemática que a la fecha no ha sido resuelta satisfactoriamente.

III. FINANCIAMIENTO DE LOS ESTUDIANTES: DISCUSIÓN ESTRATÉGICA.

El debate que se ha generado en torno al actual sistema de financiamiento de los estudios universitarios en Chile ha permitido revelar el carácter estratégico del mismo. Desde esta perspectiva, el actual formato de financiamiento requiere un proceso de reingeniería que incorpore al menos tres factores claves para definir el problema y, consecuentemente, insertarlo en una completa revisión del modelo de desarrollo del sector.

Primero, el progresivo aumento del número de estudiantes universitarios que se espera para los próximos años y la condición socioeconómica de los mismos se traducirá inevitablemente en crecientes demandas por un mayor financiamiento público, presiones que de no tener su cauce adecuado podrán dar paso a conflictos sociales de magnitud⁷. En segundo lugar, y considerando las externalidades positivas que representa para el país un avance en la tasa de profesionalización de la masa laboral, requiere diseñar e implementar un sistema de financiamiento sostenible en el tiempo. Por último, está la responsabilidad del Estado por asegurar un desarrollo del sistema universitario compatible con las aspiraciones estratégicas del país, y que permita a toda la población avanzar hacia estadios superiores de bienestar contribuyendo simultáneamente a construir una sociedad inclusiva y con mayor cohesión social.

El colapso del actual sistema de financiamiento de estudios universitarios es más que un fenómeno perceptual. Anualmente los montos de incremento real del fondo de crédito solidario se ven superados por su demanda⁸. Los significativos incrementos del Fondo para becas y créditos estudiantiles (que representan algo más del 30% de los recursos destinados a educación superior) son y han sido insuficientes para una adecuada satisfacción de la demanda (Larrañaga, 2002: 7-8). No obstante el crecimiento de los recursos fiscales señalados es menor que la tasa bajo la cual aumenta la matrícula universitaria, así como su costo. En los últimos 20 años la matrícula en las universidades del Consejo más que se duplicó, sin embargo la tasa de graduación no ha seguido ese patrón [4]. Paralelamente, por primera vez desde 1981, las universidades extra-consejo ofrecieron el año 2004 más matrículas de primer año que las del Consejo [4].

Si bien la nueva ley podría contribuir en parte a solucionar este fenómeno, es posible que esta no resuelva el problema sino cuenta con los fondos requeridos para satisfacer adecuadamente la progresión de la demanda, tanto en los remanentes actuales como en las demandas futuras. Lo que puede tender a agravarse porque el valor de los aranceles está siendo fijado con independencia de la disponibilidad de crédito.

Complementariamente, el valor de los aranceles se ha incrementado por sobre el índice de precios al consumidor, y aún cuando los precios que rigen en las universidades privadas son en promedio un 23% más altos que los valores que rigen en las públicas, la tendencia que se observa es que ambos tienden a igualarse. En cierto modo podría afirmarse que el precio de seguir estudios universitarios está tendiendo a un “precio de equilibrio de mercado” sin mayores limitaciones que las que reporta el comportamiento de la demanda y la oferta, con un Estado que a lo más cumple un rol de “observador”. Estos aumentos, en especial en las universidades del Consejo, se han basado esencialmente en la demanda del mercado de educación superior, sin considerar la evolución de los fondos disponibles para el crédito universitario ni la capacidad de recuperación de los créditos concedidos.

² El crédito implica un plazo máximo de pago de 15 años, al término del cual se extingue la deuda impaga cualquiera sea su monto. El pago que realiza el ex alumno es contingente y representa hasta un 5% de los ingresos. Hasta ahora ha operado como un sistema subsidiado en aproximadamente un 50%.

Ciertamente el incremento de la oferta de vacantes ha sido uno de los factores claves que ha impulsado la demanda además del aumento en la escolaridad promedio de la población a una cifra superior a los diez años [6], la cual se elevará en los próximos años con la nueva normativa de escolaridad media obligatoria. A esto se agrega el incremento significativo (más de un 5%) en la cobertura, tasa de éxito oportuno y tasa de éxito total de estudiantes de la enseñanza media [10]. Estos factores harán crecer el número de jóvenes demandantes de educación terciaria en una cifra superior al crecimiento vegetativo de la población de estudiantes. A ello han de sumarse los que tienen sobreedad (adultos que quieren estudiar). Es claro que en nuestro país la demanda por educación universitaria continuará incrementándose en los próximos años, estimándose que sólo después del año 2010 se estabilizará, entre otros factores por el estancamiento de la tasa de crecimiento de la población [3], la saturación de los mercados laborales, etc., alcanzando el sistema universitario una masa de estudiantes cercana a los 800.000 alumnos de pregrado.

Como se observa en la Figura N° 1, entre 1990 y 2003, la cobertura de educación superior creció desde 16,0% a 37,5% (2,3 veces); los mayores incrementos se producen en la población de los quintiles de mayores ingresos. No obstante, la cobertura entre los jóvenes del 40% de los hogares de menores ingresos se triplica en el periodo, pasando en el caso del primer quintil de 4,4% a 14,5%, y de 7,8% a 21,2%, en el segundo. Por lo tanto en el próximo quinquenio, habrá un mayor requerimiento de financiamiento de los estudios universitarios por parte de una población que a su vez demandará una mayor cobertura de crédito.

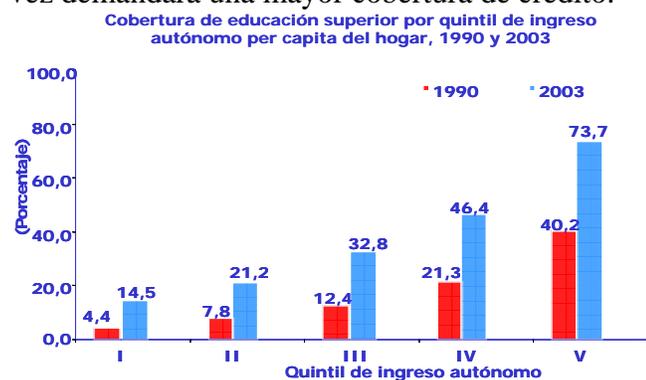


Fig. 1 Cobertura de educación superior. Fuente: MIDEPLAN, División Social, a partir de Encuesta CASEN [2] años respectivos

En la actualidad solo pueden acceder al fondo solidario de crédito estudiantil los alumnos de las universidades del Consejo, excluyéndose los estudiantes de universidades extra-consejo. Los argumentos para mantener inalterable esta situación se debilitan con el tiempo, más aún cuando la orientación del pregrado de muchas universidades públicas es similar a las privadas. En consecuencia se está marginando del acceso al sistema de crédito solidario a más del 50% de los alumnos matriculados en universidades. Por tanto, sería razonable esperar mayores requerimientos de financiamiento público para los estudios universitarios dada la creciente matrícula en universidades privadas, cuyos alumnos, que provienen en forma creciente de hogares de los quintiles inferiores, no tienen hoy acceso al crédito solidario ni a las becas que ofrece el Estado.

La magnitud del fondo solidario de cada universidad del Consejo obedece en lo sustancial a razones históricas, sin mayor relación con la composición socioeconómica del alumnado ni la evolución de su matrícula. De allí que existan grandes variaciones en el nivel de ingresos mensuales per cápita de quienes acceden al crédito, dependiendo de la universidad que se trate. En consecuencia, se observa un desigual acceso de los alumnos al crédito según la universidad en la cual estudien.

No parece razonable que universidades del Consejo que concentren mayor proporción de alumnos provenientes de familias con altos ingresos perciban montos que les permita asignar crédito a quienes de matricularse en otras universidades no lo tendrían. Para subsanar lo expuesto, el grueso de las universidades que exhiben insuficientes fondos para cubrir las demandas de crédito, enfrentadas situaciones de alta conflictividad –paros y movilizaciones-, finalmente destinan recursos propios, de fuentes que tenían otros objetivos con el consiguiente impacto en inversiones, investigación y docencia.

La recuperación de los créditos no está funcionando apropiadamente -entre otros motivos- por la baja capacidad de cobranza, lo que se traduce en un menor retorno de los recursos previstos originalmente para este sistema. Aún cuando la recuperación fuese del 100%, la recaudación sería

insuficiente para satisfacer la demanda crediticia tanto por la evolución de esta última, como por las características de los créditos asignados. Si bien desde el comienzo el crédito fiscal incorporaba un subsidio implícito, éste ha aumentado por la concomitancia entre una tasa de interés muy por debajo de la del mercado¹³ (2%), un período de gracia de 2 años, la limitación de pagar hasta el 5% de los ingresos que se obtienen en la vida profesional, y un plazo máximo de 15 años para amortizar el crédito, después del cual se condona el saldo impago.

Lo anterior ha dado origen a una deuda acumulada cercana a US \$1.200 millones, dado que el sistema en su conjunto no alcanza a recuperar anualmente el 50% de lo que corresponde¹⁴. El resultado deriva en universidades acosadas por demandas incapaces de satisfacer.

Chile es un país que exhibe una alta desigualdad socioeconómica, la que se expresa, entre otras características, en que sólo un 20% de quienes postulan a la educación superior provienen de familias con capacidad para financiar sus estudios. Para el perfil de ingreso per cápita que tiene el país, del orden de los US \$5.500 pero con una estructura altamente regresiva, el costo anual de los estudios universitarios es en extremo oneroso, pudiendo variar entre los US \$1.200 y US \$3.500 por alumno según la universidad y carrera que se trate¹⁵. Para ilustrar este punto bastaría señalar que para la prueba de selección universitaria del año 2005 se inscribieron casi 170.000 estudiantes, de los cuales más del 50% declaró ingresos familiares no superiores a los US\$ 500 mensuales.

La importancia del capital humano en la innovación y generación de ingresos está presente en todas las teorías recientes de crecimiento y desarrollo económico. Dicho aporte se manifiesta primordialmente a través del aumento en la productividad, al facilitar la adopción de tecnologías y procesos productivos más sofisticados y flexibles. La contribución del capital humano al crecimiento se encuentra respaldada por una extensa investigación empírica (véase Las metas del milenio de Naciones Unidas) que muestra que buena parte del crecimiento económico de los países es explicado por la Productividad Total de Factores (PTF) y que un elemento clave para el crecimiento

de ésta corresponde a la calidad de la educación. A este respecto se ha argumentado que si Chile mejorase la calidad de la educación, la productividad aumentaría a medida que las nuevas generaciones se integren a la fuerza de trabajo. Empíricamente se ha estimado que un aumento en la calidad de la educación consecuente con el logro de resultados promedio para el nivel de ingreso del país llevaría a aumentos de hasta 0,7 puntos porcentuales en la PTF.

Para enfrentar el desafío de la economía del conocimiento es relevante la calidad, cobertura y equidad en acceso a la educación superior. En este sentido, actualmente Chile presenta una cobertura de 37,5% cifra que es significativamente inferior al 63,6% que exhiben países considerados innovadores como Suecia, Corea del Sur, Finlandia y Suecia [1].

Los antecedentes anteriores permiten dimensionar el desafío que enfrenta la sociedad chilena en que, por una parte le asigna un creciente valor a mejorar la calidad y cobertura de la educación en todos sus niveles y, al mismo tiempo, requiere incorporar a un segmento de la población que hasta ahora aparece excluido del sistema de educación superior.

Estadísticas del Banco Mundial indican que en Chile sólo un 10,2% de la fuerza laboral es técnico-profesional, en contraste con los países innovadores, donde esta cifra se eleva al 29,2%. Pero la principal fuente de preocupación respecto a la educación superior es la existencia de diferenciales de rentabilidad excesivamente altos. Éstos no sólo ayudan a explicar la desigualdad distributiva, sino que son indicativos de distorsiones que amenazan con prolongar dicha desigualdad en el tiempo, perjudicando las posibilidades de crecimiento futuro del país. Lo anterior tiene que ver con la falta de equidad en el acceso a la educación superior. Aunque desde 1990 la proporción de jóvenes del 40% más pobre de la población que accede a la educación superior prácticamente se triplicó —pasó de 4,4% a 14,5% en el primer quintil de ingresos y de 7,8% a 21,2% en el segundo—, la brecha de acceso entre este grupo y el 20% más rico no se ha reducido. A la luz de la alta rentabilidad privada de la educación superior, esto significa que el desarrollo de este sistema no está ayudando a generar mayor equidad para el futuro.

IV. EL MODELO DE ANÁLISIS PROPUESTO

El modelo diseñado busca precisar el impacto financiero en distintos escenarios representados por los cambios en las variables claves del problema en consideración. Lo más significativo del mismo es que incorpora consideraciones respecto de la intemporalidad de las relaciones entre variables que hasta a la fecha no habían sido consideradas, a saber: la tasa de profesionalización, el aporte de éstos a los ingresos económicos y a la generación de ingresos futuros para el Estado a través de la tributación, etc.

En lo operacional, para diseñar el modelo se han introducido los siguientes supuestos:

- 1) Las variables involucradas en el modelo y sus relaciones causales son comunes a cada uno de los quintiles socioeconómicos de la población.
- 2) Los alumnos seleccionados para ingresar a las universidades reúnen las capacidades académicas para culminar exitosamente sus estudios.
- 3) Cada carrera tiene un arancel anual fijado autónomamente por cada universidad con independencia de la disponibilidad de crédito y de los ingresos familiares.
- 4) Para los efectos del modelo, en una primera aproximación, se considera un arancel único o promedio. Este arancel es el valor que debe pagar anualmente un estudiante por los servicios docentes que la universidad se compromete a entregar durante el año.
- 5) El nivel de disponibilidad de recursos económicos es función del quintil al que pertenece la familia del estudiante.
- 6) El modelo mantiene el actual sistema de financiamiento universitario, basado en el pago de aranceles para los estudiantes del pregrado. Por lo tanto, según la situación socioeconómica del grupo familiar del estudiante, éste puede acceder a distintos fondos de crédito universitario.

La fig. N° 2 expone el diagrama de bucle causal [13], donde los nodos representan variables de distintas magnitudes y las flechas una relación de causalidad positiva (+) o negativa (-) dependiendo

de la dirección de la variación de la variable afectada ante un cambio en la variable causante.

La figura ilustra los factores relevantes para determinar los fondos destinados al crédito universitario. El monto solicitado cada año se explica por las necesidades de dos poblaciones: la de los actuales estudiantes y la de los nuevos, que aparecen en el sistema como “*nueva demanda*”. Desde la primera postulación hasta el momento de convertirse en profesionales, los estudiantes solicitan los créditos que requieren.

Al titularse pasan a ser profesionales y como tales, se les presume un ingreso sustancialmente superior al que podrían haber esperado obtener sin haberse titulado. Después del período de dos años de gracia, empiezan a rembolsar en base a una tasa, aportando así al monto disponible para nuevos créditos.

La intensidad de la cobranza y el período de gracia regulan la recuperación, y en ausencia de nueva demanda podrían estabilizar el sistema. Sin embargo, una mayor disponibilidad de fondos tiende a aumentar la cantidad demandada. Por su parte cualquier aumento de los aranceles implica incrementar la necesidad de crédito de cada solicitante. Por tanto ambos aspectos inciden sobre el monto solicitado.

Se observa que la incorporación de recursos adicionales al Fondo tiene un doble efecto: aumenta las posibilidades de financiar el monto solicitado (auto-estabilización), y también aumenta la demanda, lo que disminuye la posibilidad de financiarla totalmente. Solamente cuando se agota la fuente de nueva demanda deja que actuar el segundo bucle (negativo). En este sentido, la asignación adicional de recursos es un incentivo para estudiar.

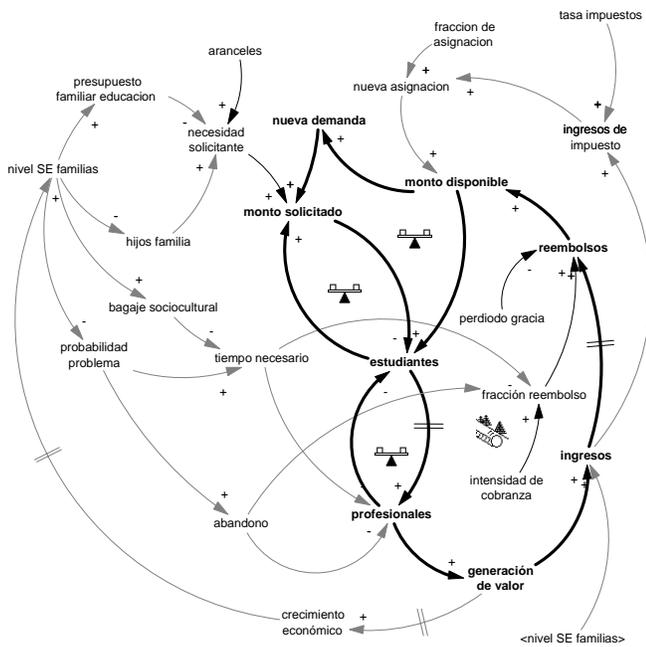


Fig. 2: Bucle básico de atribución y cobranza de créditos

Esta figura muestra que a mayor devolución del crédito (reembolso), sería mayor la disponibilidad del fondo. Sin embargo, aún cuando el reembolso fuera de 100%, y la demanda no aumentara y el valor de los aranceles se mantuviera constante, este fondo difícilmente podría ser autosustentable en virtud del componente de subsidio que contiene. Pese a que en los últimos años se ha puesto especial énfasis en mejorar los sistemas de cobranza, esta política no es suficiente para la sustentabilidad del Fondo.

Parte del crecimiento de la demanda por crédito puede ser inducida por un mayor nivel del fondo: en la medida que los jóvenes sepan de una mayor disponibilidad de recursos aumentarán la postulación a las universidades. Otra parte puede provenir del aumento de los aranceles de las universidades, lo que incide en una mayor necesidad de recursos para crédito.

En consecuencia, bajo las condiciones actuales (crecimiento de demanda, aumento de los aranceles y recuperación inferior a 100%), parece impensable que el crédito universitario funcione adecuadamente sin asignaciones anuales adicionales. Surge entonces la pregunta: ¿cuánto se necesita? o bien ¿cómo determinar el monto de la asignación adicional que se requiere? Para responder estas interrogantes es necesario considerar los siguientes factores:

- el posible aumento de ingresos del Estado vía impuestos;
- la posible disminución de la necesidad de crédito de los jóvenes;
- los riesgos de un flujo insuficiente de recursos.

Las siguientes secciones ilustran cada uno de estos aspectos.

A. El posible aumento de ingresos del Estado por los impuestos

Los estudios universitarios dan origen a mayores ingresos futuros por parte de quienes se matriculan en las universidades, razón por la cual como profesionales pagarán más impuestos de lo que habrían pagado sin estudiar.

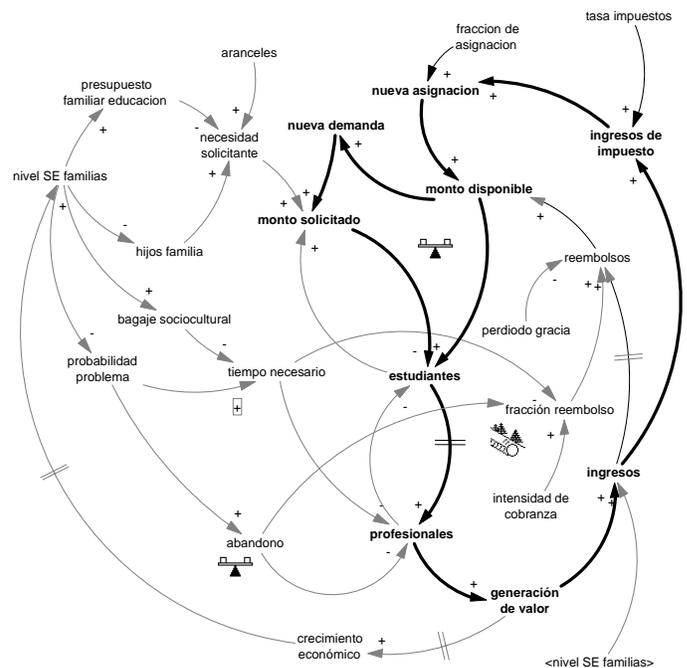


Fig. 3: Ingresos adicionales vía impuesto por el mayor ingreso de los nuevos profesionales.

Por tanto, por haber otorgado recursos para crédito el Estado obtendrá ingresos adicionales. De allí que el crédito debe concebirse como una inversión que genera ingresos futuros. Incluso es posible pensar que parte de estos ingresos adicionales puedan ser destinados a aumentar el monto disponible. En este caso, la nueva asignación permite incrementar el número de estudiantes que algunos años más tarde pagarán más impuestos de los que habrían pagado sin estudiar.

Simultáneamente actúa el bucle de la incitación de nueva demanda, la que se mantendrá activada hasta agotarse la nueva demanda potencial.

Actualmente se desconocen la magnitud del ingreso adicional de impuestos en relación con la asignación de recursos adicionales y su distribución en el tiempo. Sin embargo, este efecto existe y por lo tanto es parte fundamental del modelo para determinar el monto de una nueva asignación.

B. La posible disminución de la necesidad de crédito de los jóvenes

En general la Teoría del Capital Humano sostiene que los estudios universitarios tienen incidencia significativa en la movilidad social ascendente. Al mismo tiempo se observa que la cobertura de estudios universitarios de los quintiles socioeconómicos inferiores es reducida, en razón de ello se espera que el grueso del crecimiento de la demanda provenga de estos quintiles. Esta situación implicará aumentar la proporción de estudiantes cuyos padres -por lo general- no son profesionales. Por lo tanto es de esperar que en las décadas siguientes, cuando los hijos de estos estudiantes estén en edad para ingresar a la universidad, la familia tenga un nivel socioeconómico más alto, por lo que su necesidad de crédito será inferior a la que tuvieron sus padres.

Esto significa que en el lapso de una generación una menor proporción de estudiantes demandará crédito para financiar los aranceles. Sin embargo, esa menor demanda no considera los costos de alimentación, alojamiento y otros, cuyo financiamiento también puede ser objeto de demanda, ni tampoco se conoce la magnitud relativa del efecto intergeneracional.

No obstante estas dificultades, queda en evidencia que el efecto existe, y que debería considerarse en el diseño de una política para establecer el volumen deseado de las asignaciones.

Los grupos de ciclos (*bucles*) de retroalimentación tienen un comportamiento amplificador, que puede darse bajo dos modalidades: virtuosa o positiva por los mayores ingresos profesionales y la generación de valor para quienes contratan sus servicios; y la viciosa o negativa por la insuficiencia del crédito asignado que no permite satisfacer cabalmente las necesidades económico-financieras, con consecuencias en el rendimiento académico que retrasan el egreso de la universidad.

La modalidad viciosa o negativa es la que probablemente más pesa en la actualidad; si en un año el crédito no es suficiente para quienes lo necesitan, se pierde el efecto descrito para el futuro, el que no es factible de recuperar, quedando como una hipoteca que no logra cancelarse.

C. Los riesgos de un flujo insuficiente de recursos.

Existen diversas vías por las cuales la insuficiencia de fondos puede afectar al sistema. Una de ellas proviene del hecho que la mayoría de los nuevos estudiantes, al pertenecer a los niveles socioeconómicos más bajos, serán más vulnerables ante las reducciones de crédito. La otra es que esta nueva población de estudiantes, producto de su déficit de capital social, cultural etc. demorará en promedio más tiempo para terminar sus estudios.

El efecto de lo señalado será la postergación del inicio de su desempeño profesional y elemento activo en los dos grupos de ciclos (*bucles*) presentados. Esta postergación puede darse en forma de retiros temporales (por ejemplo, para trabajar) o retrasos en el pago de aranceles (lo cual provoca que la institución no entregue el título

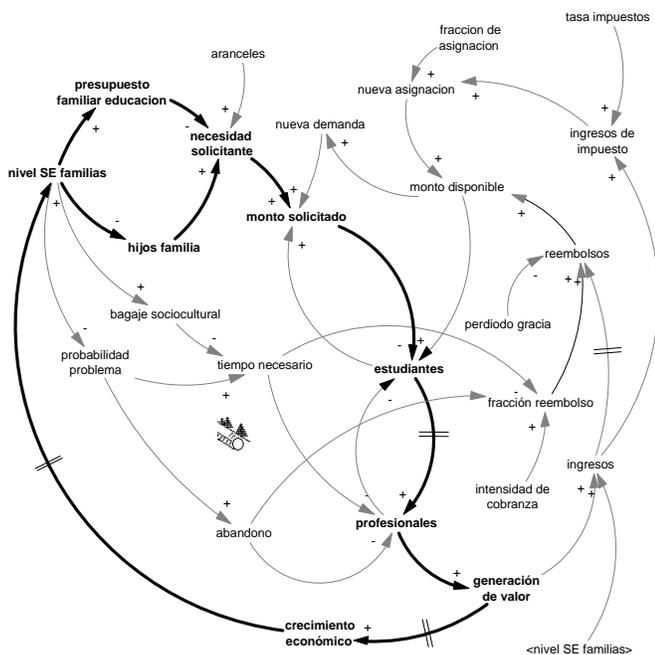


Fig. 4: Los hijos de los actuales estudiantes necesitarán menos crédito.

profesional). En ambos casos habrá menos profesionales de lo que habría sido posible; en consecuencia, no se obtiene todo el potencial de ingreso adicional de impuestos, ni toda la disminución de necesidades, reforzándose el riesgo de un flujo insuficiente de recursos.

universitario chileno. Se presenta un modelo causal (conceptual) que muestra múltiples bucles de retroalimentación.

El modelo propuesto permite representar la existencia de dos fuerzas que actúan en direcciones opuestas. Una en sentido positivo y la otra negativo. La positiva, proviene del aumento de la tasa de profesionales en la población activa, lo que se traduce –por un lado- en un aumento de los ingresos por impuestos y por otro, en la progresiva reducción de la necesidad de crédito. Ambas son efectos de mediano a largo plazo, que se retroalimentan y por tanto tienden a la auto-amplificación.

La negativa, se deriva de la creciente proporción de estudiantes que proviene de los quintiles más vulnerables. Cuando la disponibilidad de crédito per cápita no satisface los requerimientos de los estudiantes, aumenta la probabilidad que éstos abandonen o prolonguen sus estudios por factores económicos. En consecuencia se incrementa la escasez relativa del monto disponible, lo que tiende a postergar y reducir la incorporación de nuevos recursos al fondo.

El modelo asume que todos los postulantes que se incorporan como estudiantes poseen las competencias mínimas para desempeñarse satisfactoriamente en la universidad. Sin embargo, hay antecedentes que indican que el fracaso también tiene raíces académicas, en consecuencia no se puede atribuir el retraso o la deserción sólo a la variable socioeconómica, aunque ésta sigue siendo la más significativa. Al mismo tiempo se argumenta que las competencias académicas tiene fuertes nexos con la situación socioeconómica de la población, estableciéndose un círculo vicioso entre estos factores [5].

El sistema del crédito universitario es una materia compleja, lo que no impide que sea representada ni revelada su estructura y comportamiento en este modelo. A partir de éste es posible diseñar una política de crédito universitario basada en los factores señalados. El trabajo futuro consiste en determinar el nivel de recursos deseable incorporando el factor intergeneracional y la fuerza con que inciden cada una de las variables incluidas en el modelo.

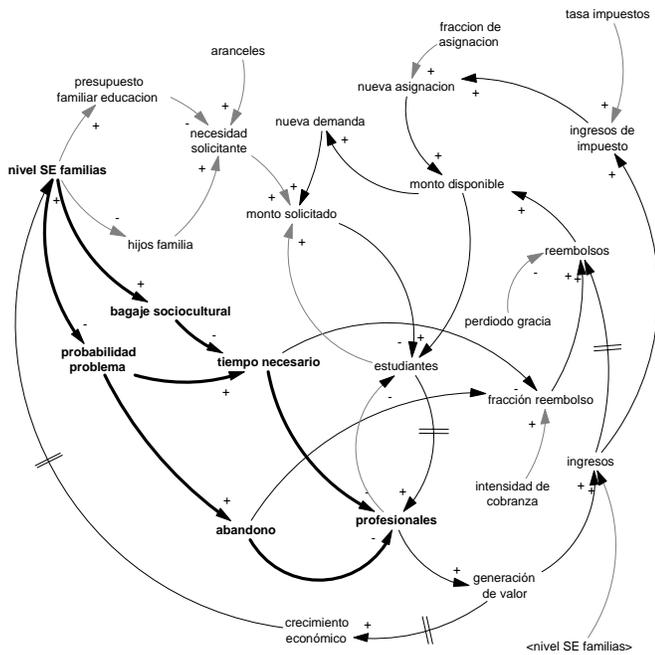


Fig. 5: dar muy poco crédito puede causar efectos adversos

Cada vez que un estudiante no logra obtener su título o se atrasa, hay menos profesionales en el mercado. Esto disminuye la recuperación, la recaudación de impuestos y el crecimiento que iba a ayudar a disminuir la necesidad.

Esto demuestra que a lo menos una parte de los problemas del sistema de crédito universitario son de carácter endógeno, excluyendo los hábitos de no pago o los generados por débiles sistemas de cobranza. De lo visto se desprende que insuficientes asignaciones adicionales tienen una gran capacidad para generar problemas de atraso y abandono con consecuencias que no pueden ser corregibles solo por una cobranza más estricta.

V. CONCLUSIÓN

El artículo elabora una propuesta relativa a los factores que deben considerarse en la determinación del monto de crédito deseable para el sistema

REFERENCIAS

- [1] J. J. Brunner y G. Elacqua, Capital humano en Chile. Universidad Adolfo Ibáñez, Santiago, Chile. 2003.
- [2] Casen (2004) Resultados iniciales Encuesta Nacional de Caracterización Socioeconómica. Ministerio de Planificación Nacional, Santiago. www.mideplan/casen
- [3] CEPAL/CELADE. 2000. Boletín demográfico. No 66. División de Población, Santiago.
- [4] CSE. 2004. Indicadores Generales de Educación Superior. Consejo Superior de Educación, Chile. www.cse.cl
- [5] P. González, La igualdad educativa, el financiamiento vía subvenciones y la administración privada de la educación. UNESCO. Políticas Educativas y Equidad. Santiago de Chile, Pp. 247 -270. 2005.
- [6] INE. 2004. Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2002. Instituto nacional de Estadísticas, Chile. www.ine.cl
- [7] MINEDUC. 1999. Anuario Estadístico. Departamento de Estudios y Desarrollo de la División de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Educación.
- [8] MINEDUC. 2000. Anuario Estadístico. Departamento de Estudios y Desarrollo de la División de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Educación.
- [9] MINEDUC. 2001. Anuario Estadístico. Departamento de Estudios y Desarrollo de la División de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Educación.
- [10] MINEDUC. 2002. Anuario Estadístico. Departamento de Estudios y Desarrollo de la División de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Educación.
- [11] MINEDUC. 2002. Indicadores de la Educación Chile 2002. Departamento de Estudios y Desarrollo de la División de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Educación.
- [12] C. Sapelli, 2002. Tasas de retorno de la educación en Chile. 1990-1998. www.edec.cl/fceaecono
- [13] Sterman, "Business Dynamics". Ed. John Wiley. 2000.

Autores

Martin Schaffernicht es profesor de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad de Talca. Obtuvo su doctorado en ciencias de gestión de la Universidad Montpellier II (F). Su investigación se concentra en el aprendizaje en las organizaciones y el rol del modelamiento.

Rodolfo Schmal es profesor de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad de Talca. Obtuvo su maestría en ciencias de la computación de la Universidad (?). Su campo de especialización es el modelamiento de sistemas de información.

Reinaldo Ruiz es profesor de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad de Talca. Obtuvo un doctorado en ciencias económicas de la Universidad (?). Dirige el Centro de Estudios Regionales de la Facultad de Ciencias Empresariales y la Dirección de planificación de la Universidad de Talca.

Sebastián Donoso es profesor del Instituto de Investigación y Desarrollo Educacional de la Universidad de Talca. Obtuvo su doctorado en (?) de la Universidad (?). Sus investigaciones se contran en (?)

ⁱ Asumiendo un arancel promedio anual de \$ 1,500,000, una tasa de cambio de 1 US\$ = \$ 650 y una matrícula universitaria de 350,000 alumnos.

⁷ Situación que puede reforzarse dado que a partir del año 2004 el Estado chileno decretó la enseñanza media como nivel educativo obligatorio, impulsando por esta vía la escolarización de toda la población y, en razón de ello es previsible una mayor demanda por educación terciaria.

⁸ Véase al respecto el presupuesto inicial del Ministerio de Educación para la educación superior, su reitemización y el presupuesto finalmente ejecutado por años [7], [8], [9], [10], [11].

¹³ La nueva ley de financiamiento que se propone este año (2004) mantiene la tasa de interés, amplía el plazo de recuperación a 20 años, e igualmente sostiene la recuperación asociada a contingencia.

¹⁴ En el presente año se recuperaron poco menos de 50 millones de dólares (MM \$31.000)

¹⁵ A una tasa de cambio US \$1 = \$650.

Ideas para una Dinámica de Sistemas en la Educación desde el primer grado.

Andrade Sosa Hugo Hernando, Navas Garnica Ximena Marcela.
handrade@uis.edu.co
Universidad Industrial de Santander

Resumen— Este artículo procura presentar a la comunidad latinoamericana una revisión general de las experiencias de la Dinámica de Sistemas (D.S) en la educación desde kinder hasta doceavo grado, como sustento para construir y formalizar la aplicación de una D.S para la educación en Latinoamérica desde el primer grado.

Se inicia con las voces de los gestores y los fundamentos que ha guiado la D.S en la educación de 1975 a 2003, para hacer un llamado a la comunidad a revisar las experiencias, en procura de construir una D.S para la educación dirigida principalmente a los niños y jóvenes y sus profesores. Se cierra proponiendo algunos interrogantes y tareas para la comunidad Dinámico-Sistémica de Latinoamérica.

Índice de Términos—Dinámica de Sistemas, Educación, Modelos, Modelado y Simulación, Simulación.

I. INTRODUCCIÓN

Se presenta a continuación la revisión de algunos de los planteamientos y experiencias de la aplicación de la D.S a la educación, basado en los artículos de Janet M. Gould-Kreutzer [1] “Los primeros pasos de la D.S. en la educación”, Jay Forrester [2] “Dinámica de Sistemas y Aprendizaje Centrado en el Estudiante desde párvulos hasta doceavo grado de educación”, Barry Richmond [3], “Pensamiento Sistémico: Habilidades de Pensamiento Crítico para los 90s y más Allá”, David Ford [4] “Dinámica de Sistemas como una Estrategia para Aprender a Aprender”, Less Stuntz, Debra Lyneis y George Richardson [5] “El Futuro de la D.S. y el Aprendizaje Centrado en el Aprendiz en la Educación de K-12” y en Colombia Hugo H. Andrade y Carlos Parra [6] “Esbozo de una Propuesta de Modelo Educativo Centrado en los

Procesos de Pensamiento”, Hugo Andrade y Ximena Marcela Navas [7] “La Informática y el cambio en la educación -Una Propuesta Ilustrada con Ambientes de Modelado y Simulación con Dinámica de Sistemas: Proyecto MAC-; Hugo Andrade, Marlene Guerrero, Oscar Vargas y Luis Carlos Gómez, [8] “MAC 6-7 2.0 Micromundo para el Aprendizaje de Ciencias de la Naturaleza de Sexto y Séptimo grado”

El propósito de esta revisión es motivar en la comunidad latinoamericana una revisión general de las experiencias propias y ajenas de la D.S en la educación desde kinder hasta doceavo grado, como sustento para construir y formalizar la aplicación de una D.S para la educación en Latinoamérica desde el primer grado.

Se inicia con las voces de los gestores y los fundamentos que ha guiado la D.S en la educación de 1975 a 2003, para hacer un llamado a la comunidad a revisar las experiencias, en procura de construir una D.S para la educación dirigida principalmente a los niños y jóvenes y sus profesores. Se cierra proponiendo algunos interrogantes y tareas para la comunidad Dinámico-Sistémica de Latinoamérica

II. DINÁMICA DE SISTEMAS EN LA EDUCACIÓN

Como eje de esta revisión se asume el artículo de Gould-Kreutzer [1] ampliando las menciones que la autora hace sobre los planteamientos de Forrester [2] y Nancy Roberts, integrando la propuesta de Ford [4] para desarrollar las habilidades de aprendizaje mediante la experimentación simulada en administradores^a y estudiantes, basadas en las 7

^a Funcionarios de las organizaciones con cargos de planeación, dirección y control

habilidades o formas de pensamiento Dinámico-Sistémicas propuestas por Richmond, lo anterior complementado con el esbozo de propuesta educativa centrada en los procesos de pensamiento, como una estrategia de intervención en la dinámica educativa desde 1 a 11 grado, así mismo considerando los planteamientos de un grupo de profesores de escuelas y profesionales de la D.S sobre el futuro de la D.S. en preescolar hasta el doceavo grado de educación. (K-12) en EEUU; integrando las ideas sobre educación, informática, el Cambio y el Pensamiento Sistémico (P.S), para proponer una estrategia de intervención en la dinámica educativa, en la cual adquiere sentido el uso de herramientas software que con facilidades para el modelado y la simulación con D.S, posibilitan pensar y desarrollar acciones no sólo para aprender sino principalmente para aprender a aprender. Esta estrategia se ilustra con la presentación del proyecto MAC, Micromundos de simulación para el Aprendizaje de Ciencias de la naturaleza de 1 a 11 grado; ilustrando la anterior propuesta con el software MAC 6-7 2.0.

Gould-Kreutzer recopila en su artículo información que proporciona diversas visiones y experiencias de la introducción de la D.S y el P.S en la educación, clasificándola en dos grupos, los planteamientos relacionados con la educación de los niños y jóvenes (8 a 18 años) y los relacionados con el nivel universitario.

Inicia su revisión con una breve introducción en la cual expresa que el incremento de actividades que combinan D.S. y educación ha sido posible, en parte gracias a la revolución tecnológica de los computadores ocurrida en los diez años que preceden a su publicación. La D.S en un principio fue enseñada solamente a universitarios, pero gracias al desarrollo de los computadores, se logró introducir a los niños y jóvenes estudiantes. Este desarrollo permitió la creación de ambientes de experimentación basados en modelos dinámicos de simulación, que les facilitan a los estudiantes explorar nuevas ideas y pensar acerca del objeto de estudio. Además, estos ambientes incluyeron un asistente para el aprendizaje acerca de la estructura

y el comportamiento del sistema; los aprendices fueron capaces de trabajar con variedad de modelos e identificar estructuras genéricas simples. Forrester [2], amplió esta idea al expresar que uno de los aspectos en los cuales se centra la D.S son las estructuras genéricas. Un pequeño número de estructuras relativamente sencillas que aparecen repetidamente en diferentes áreas, profesiones y escenarios de la vida real. Los estudiantes, mediante analogías e isomorfismos, transfieren sus conocimientos de un fenómeno a otro, esto les ayuda a romper las barreras entre las disciplinas y el aprendizaje en un campo se vuelve aplicable a otro.

Gould-Kreutzer reconoce que la introducción de la D.S. en la educación requiere aclarar una base conceptual más amplia a la cual pertenece ésta, el P.S, y comenta que no se tiene una clara definición de éste. Para su comunidad el P.S. corresponde a un mirar de los fenómenos como sistemas y en particular, como sistemas dinámicos; lo que hoy se denomina pensamiento dinámico-sistémico [9] cuyas formas más representativas son las planteadas por Barry Richmond [3] y señaladas por la autora: pensamiento dinámico, cíclico, genérico, estructural, operacional, continuo y científico, que a su vez se promueven usando D.S. Andrade y Parra [6], asumen las Formas de Pensamiento (F.P) en su propuesta de la siguiente manera:

- A. Pensamiento Dinámico (PD): Identifica patrones de comportamiento y los procesos cíclicos que lo sustentan. Se asocian ciclos causales con su comportamiento.
- B. Pensamiento Estructural (PE): Se concentra en la estructura del fenómeno: reconoce la causalidad entre los diversos elementos de un fenómeno. Identifica ciclos causales simples.
- C. Pensamiento Genérico (PG): Identifica similitudes y analogías entre fenómenos de naturaleza diferente (isomorfismos). Usa ejemplos causales. Se requiere de PE y PD.
- D. Pensamiento Operacional (PO): Implica cómo trabajan realmente las cosas y no cómo teóricamente lo hacen. Se prueban modelos causales en la computadora. De la mano con PE.
- E. Pensamiento Cíclico (PCI): Identifica la relación entre estructura del modelo y el

comportamiento observado en el fenómeno. Explica modelos de sistemas. Va de la mano con el PD y PE.

F. Pensamiento Continuo (PCO): Aprecia y explica los fenómenos como resultado de interdependencias continuas y no como hechos aislados. Se diseñan y construyen modelos, se manipulan micromundos basados en modelos de simulación.

G. Pensamiento Científico (PC): Cuantifica variables, propone y evalúa hipótesis. Se manipulan modelos preconstruidos y se prueban modelos propios.

Continuando con la revisión, Gould-Kreutzer, en su historia de la D.S. en la educación, señala que Nancy Roberts en 1974 publica el primer artículo sobre el tema, y más tarde desarrolla una experiencia con estudiantes usando el software DYNAMO; organiza el primer curso para la formación de profesores y escribe la primera tesis doctoral en el campo en 1975. Forrester reafirma lo anterior, presenta a Roberts como la pionera en mostrar la D.S como un marco de trabajo para dar sentido a los hechos detallados [10]. Su trabajo, [11] señala la ventaja de invertir la secuencia de enseñanza tradicional, en la cual varios años de aprendizaje de datos y hechos preceden su uso, al presentar la síntesis en una temprana etapa de la experiencia del aprendiz. Tal síntesis puede ser basada en hechos que inclusive el estudiante de nivel básico ya ha acumulado durante su vida. En este mismo sentido, Forrester expone el problema que enfrenta la educación tradicional al no preparar a los estudiantes para hacerle frente a las necesidades de la sociedad. Además, propone un enfoque para una educación más efectiva teniendo como principios básicos la D.S y el aprendizaje centrado en el estudiante.

Ampliando las anteriores ideas, Stuntz, Lyneis y Richardson [5] expresan que las escuelas de hoy en día fueron diseñadas para satisfacer las necesidades de un amanecer de la sociedad industrial en América. Se preparaban estudiantes para ser los trabajadores productivos en las fábricas y las escuelas fueron actualizándose en los principios de

la producción en masa, ideas que se extendieron y fueron cambiando a través de los países. En estas escuelas, un eficaz proceso de la cadena de producción, apuntaba a educar graduandos de consistente calidad uniforme. Los profesores fueron un engranaje en este proceso, podrían darle a sus estudiantes todo lo que ellos necesitaban conocer a cerca de cada grado a lo largo del camino. Fue un sistema que llenó las necesidades de ese tiempo.

Stuntz, Lyneis y Richardson reconocen que los tiempos han cambiado. Vivimos en una economía global de rápido cambio en donde la información y su accesibilidad está creciendo y la comunicación es instantánea. No podemos enseñarles a los estudiantes algo para que desempeñen un trabajo previsible. Ahora los estudiantes necesitan un gran conjunto de habilidades para prosperar hoy en día en esta economía cambiante. Aún más importante, necesitan un profundo entendimiento, ánimo y coraje para tratar efectivamente los complejos y crecientes problemas sociales, económicos, políticos y ambientales que nos rodean. Es tiempo para el cambio, para diseñar nuestras escuelas que reúnan las necesidades de hoy en día.

Las ideas de Stuntz, Lyneis y Richardson las continúan Andrade y Parra [6], donde exponen que todos somos productos del aprendizaje orientado a contenidos y dirigido por el profesor donde el salón de clase se organiza en filas, al frente está el profesor, cuyo trabajo es transmitir lo que sabe a los estudiantes y los contenidos vienen predeterminados de antemano para en el último año presentar una prueba de conocimientos. El trabajo del estudiante consiste en recibir la mayor cantidad de información que se le transmite, para lo cual debe "estar quieto y prestar atención". Según varios autores, este enfoque educativo refleja a la sociedad industrial, en donde la producción de bienes se realiza en masa y con cierto grado de especialización (al igual que sucede con los estudiantes y profesionales), pero marcha rezagada en cuanto a la capacidad de adaptación a condiciones cambiantes [12].

Asumiendo lo anterior, Andrade y Parra,

formulan una propuesta de modelo educativo centrado en los procesos de pensamiento para la estructuración del conocimiento y la toma de decisiones con visión de futuro y no centrado en los contenidos. Este modelo integra tres componentes fundamentales: El paradigma de pensamiento (P.S), el enfoque educativo (constructivismo) y los medios (D.S). Andrade y Navas [7] continúan la formulación de éste modelo educativo y proponen centrar el proceso en el desarrollo de habilidades de pensamiento, combinando el P.S. con el enfoque constructivista para orientar la educación hacia “aprender a aprender” y motivar a los estudiantes a comprender fenómenos de diversa naturaleza, contemplando los elementos e interacciones que los describen como sistemas y que explican su evolución dinámica a través del tiempo; esperando así aportar en la formación de un espíritu crítico e investigador.

Andrade y Navas [7] retoman estos planteamientos para dar a conocer una propuesta de uso de micromundos de modelado y simulación con D.S, para el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en los grados 1 a 11, denominada proyecto MAC. La propuesta, surgió con el propósito de llevar las ideas del P.S a la educación y en particular, una expresión de este pensamiento, el Dinámico Sistémico, mediante el lenguaje de la D.S, lenguaje para el modelamiento y la simulación de fenómenos de diversa naturaleza. Es decir, al proyecto MAC lo motiva una preocupación por llevar un paradigma de pensamiento a través de una teoría tecnológica instrumentalizada por la informática y el apoyar el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza.

Los MAC son herramientas para la acción y como tales no determinan lo que se ejecute con éstas, pero si están desarrolladas con la intención de posibilitar el pensar y diseñar la estrategia de cambio. Es decir, la herramienta así concebida, no sólo es un instrumento sino también un elemento del contexto en el cual es posible idear estrategias y proponer acciones acordes con la postura institucional frente a la educación y a la informática.

En particular estos productos integran: el uso de la multimedia, las bondades de los ambientes soportados en páginas web, las facilidades de comunicación y acceso a información vía internet, las potencialidades de la computación para simular fenómenos soportados en complejos modelos matemáticos y de esta manera crear ambientes de experimentación altamente interactivos y finalmente, las potencialidades de las herramientas para el modelamiento y la simulación con DS, que permiten orientar procesos de construcción y reconstrucción de conocimientos, herramientas que hasta el presente sólo han estado al alcance de cursos universitarios o de centros de investigación.

Andrade y Parra para instrumentalizar la propuesta, plantean un ambiente educativo informatizado, que más tarde, Andrade, Guerrero, Vargas y Gómez [8], formalizan en términos de producto software MAC 6-7 versión 2.0, perteneciente al macroproyecto MAC. Este software contiene tres niveles: Nivel Lector, Nivel Experimentador y Nivel Investigador. A partir de estos niveles se apoya el aprendizaje sobre fenómenos de interés y su estudio como sistemas con el soporte de las facilidades multimediales, de modo que el modelado y la experimentación se ven enriquecidos con textos, sonidos, vídeos, imágenes y animaciones.

El grupo Investigación en Modelamiento y Simulación (SIMON)^b ha desarrollado hasta el momento, enmarcados en el macroproyecto MAC: MAC 4-5, MAC 6-7 1.0, MAC 8-9, MACMedia 1.0, MACMedia 2.0 y MAC 6-7 2.0, herramientas realizadas en medio de un proceso de análisis, diseño, desarrollo, evaluación y mejoramiento, conducentes a obtener productos software con alto nivel de acabado y coherentes con la propuesta pedagógica y propósitos educativos.

Reasumiendo el eje de esta revisión, Forrester plantea que el descontento de la sociedad con la

^b El Grupo SIMON está adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga – Colombia. Mayor información:
<http://www.uis.edu.co/investigacion/grupos/paginas/simon/index.html>

educación se debe a la naturaleza fragmentaria del esquema tradicional, donde se divide el estudio de los fenómenos en materias separadas, que en el mundo interactúan; es decir, se enseñan muestras estáticas y parciales del mundo cuando sus problemas son holísticos y dinámicos. La D.S y el aprendizaje centrado en el estudiante prometen fortalecer el proceso de aprendizaje para mejorar el alcance, la profundidad y el entendimiento en la educación. Además, este último cambia la función que viene desempeñando el profesor en la clase de recitador de datos. Los aprendices tienen la oportunidad de explorar, recopilar información, y lograr unidad con sus experiencias educativas. Un profesor en este escenario actúa como guía y como estudiante participativo, en lugar de ser una autoridad fuente de sabiduría.

Ampliando y apoyando las anteriores ideas, Stuntz, Lyneis y Richardson presentan otros beneficios del acercamiento de la D.S a la educación, no sólo enriquece el programa de estudios sino va más allá. Los estudiantes asumen la responsabilidad de su aprendizaje, la estructura de los cambios de la experiencia educativa. El profesor pasa de ser el único transmisor de todo el conocimiento para ser un guía que ayuda al estudiante a desarrollar las habilidades para construir su propio conocimiento. En una clase centrada en el aprendizaje los profesores y los estudiantes persiguen una idea, una habilidad, un entendimiento. Los profesores guían la necesidad de mejorar las habilidades mientras el estudiante lidia como investigador y explorador para avanzar. El estudio por grupos de estudiantes de D.S con las habilidades, perspectivas y responsabilidades permiten enfrentarlos efectivamente con problemas dinámicos de tipo social, económico y ambiental. Dar a ellos las herramientas y lenguajes comunes para aflorar y abrir discusiones de sus modelos mentales de problemas complejos, lo que les permite reconocer políticas alternativas para liderar la toma de decisiones fundamentadas. Así como los estudiantes entienden cómo trabajan los sistemas, desarrollan sus propios límites de espacio y de tiempo, obtienen una buena conciencia del efecto de sus propias acciones y de la interacción entre

personas y entre los sistemas que los rodean. Aprenden a cerca de interdependencias, de soluciones a corto y largo plazo y de cómo pueden marcar la diferencia. En resumen, la D.S los hace buenos ciudadanos.

Andrade y Parra al igual que Stuntz, Lyneis y Richardson proponen nuevos roles para el profesor y el estudiante, expresan en su artículo que “El profesor provee de materiales y estrategias alternas para la construcción, con un contacto individual para cada alumno dentro del ambiente de educación; los estudiantes tienen la opción de trabajar en equipo o individualmente”, para que todo lo anterior sea viable, se requerirán no sólo cambios en los roles señalados, sino en los demás componentes del sistema educativo, es decir, en palabras de Stuntz, Lyneis y Richardson, “como naturalmente las lecciones llegan a ser más interdisciplinarias el cambio en los fundamentos, en la entrega de instrucción penetra la estructura del colegio, revitalizándolo. Con el aprendizaje de estudiantes y profesores se convierte en la empresa para todo el mundo”.

Forrester comenta que los profesionales de la D.S, durante los últimos 30 años construyeron una base más efectiva que la previamente existente para el entendimiento del cambio y la complejidad del mundo. Esta disciplina descansa sobre tres pilares:

- 1) Los ciclos de realimentación que contienen flujos de información, toma de decisiones y acción.
- 2) El uso masivo del computador para simular el comportamiento de sistemas complejos, poco posibles de abordar con los métodos tradicionales.
- 3) El ser conscientes de que la mayor parte del conocimiento acerca de estructuras dinámicas presentes en el mundo reside en la cabeza de las personas.

En la misma línea de Forrester, Ford [4] propone aplicar la D.S para desarrollar habilidades de aprendizaje mediante la experimentación simulada en administradores y estudiantes. Con un mayor alcance, Richmond [3] propone un cambio radical de pedagogía, basado en tres ejes fundamentales: proceso educativo centrado en el aprendiz, un

paradigma de P.S y herramientas de aprendizaje basadas en el modelamiento con D.S. La aplicación de estas tres ideas permite promover en el estudiante el desarrollo de 7 habilidades de pensamiento, ya mencionadas. El reto radica en transferir esta propuesta educativa a profesores y estudiantes.

Ford propone una estrategia que usa D.S para desarrollar habilidades de aprendizaje en el estudiante y presenta algunas de las barreras identificadas en su práctica. Fundamenta su estrategia en un enfoque constructivista, en el que la experimentación y la reflexión juegan el rol principal. Además, toma como base el ciclo de aprendizaje OEDI (Fig 1.), desarrollado por Shewhart y Deming [13], [14]; que prepara a los administradores para la investigación. En este contexto los administradores pueden manejar sistemas complejos sin acudir a expertos, impulsando de esta manera el aprendizaje individual.

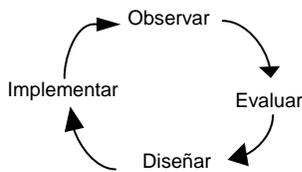


Fig. 1. Ciclo de Aprendizaje OEDI

Para este investigador, el objeto de aprendizaje es el aprender a aprender y a su vez éste corresponde al desarrollo de diversas habilidades cognitivas, así mismo asume la idea de investigar de Frankfort-Nachamias y Chava Nachamias [15], en términos de un proceso en el cual el investigador formula y responde preguntas que generan conocimiento, lo anterior es consistente con las habilidades de aprendizaje individual que necesitan los administradores para tratar problemas complejos.

Esta estrategia consta de 3 fases:

A. *Fase 1:* Hacer conciencia de la necesidad de aprendizaje.

Se desarrolla enfrentándose al manejo y diseño de sistemas complejos como paso para motivar el desarrollo de las habilidades de aprendizaje individual. Se utiliza el juego de la cerveza (Senge, [16]), ambiente de simulación de una línea de distribución y venta de cerveza.

En Colombia el grupo SIMON, desarrolló un ambiente computacional para el juego de la cerveza, [17], donde cada uno de los jugadores participa en un computador y además de facilitarle el registro de la información, le orienta reflexiones alrededor de estrategias de juego, las cuales el jugador puede experimentar en el juego mismo y en ambiente simulado con D.S.

B. *Fase 2:* Desarrollar habilidades en las actividades básicas del aprendizaje.

En esta fase se entrenan los administradores en las cuatro actividades básicas del ciclo OEDI, construyendo una explicación sobre la dinámica de un fenómeno complejo utilizando las herramientas del lenguaje de la D.S. Estas herramientas se aprecian en la Fig. 2, distribuidas entre las cuatro actividades del ciclo OEDI.

C. *Fase 3:* Desarrollar habilidades para dirigir procesos de aprendizaje.

Se busca generar en el estudiante la confianza para dirigir su propio proceso de aprendizaje. El autor plantea que se logra con la aplicación del ciclo OEDI en el modelado de fenómenos familiares y haciendo énfasis en el proceso iterativo de aprendizaje y modelamiento.

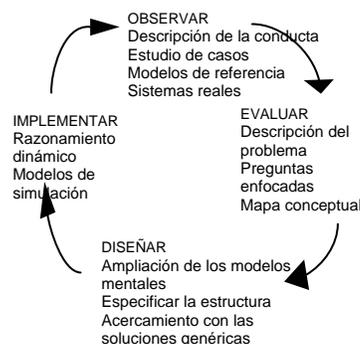


Fig. 2. Herramientas para el desarrollo de habilidades en las actividades básicas de aprendizaje.

Ford esboza como barreras principales para el aprendizaje de sistemas complejos, la cultura académica que asume el aprendizaje como la sola transmisión de soluciones conocidas o el seguimiento de procedimientos explícitos creados por expertos para preparar a los administradores; en particular, en su experiencia de aplicación de la estrategia se identificaron los siguientes obstáculos:

- 1) El rechazo a los riesgos que implica la utilización de la experimentación como medio de aprendizaje
- 2) Incomodidad por el manejo de la incertidumbre y la ambigüedad al modelar, es decir, los estudiantes se centran en los productos finales y no en el proceso de aprendizaje.
- 3) Temáticas de aprendizaje que no son de interés para el estudiante, impidiendo su compromiso por encontrar una explicación del fenómeno.
- 4) Predominio del modelo de aprendizaje pasivo en la educación formal del estudiante, necesitando un guía para desarrollar un enfoque constructivista para aprender.
- 5) Dificultades para reflexionar (pensamiento crítico) sobre la observación y la experiencia individual.

Retomando las ideas de Gould-Kreutzer, Kenneth Simons en “Nuevas tecnologías en juegos de simulación” presenta el punto de vista sobre el poder de los juegos de simulación Vs el software de modelamiento, bajo circunstancias específicas como la ausencia de un profesor guía o de suficiente tiempo, para que los estudiantes desarrollen sus propias habilidades, en la construcción de modelos. Simons explora publicaciones sobre diversión Vs aprendizaje, tutoriales inteligentes y diseño de juegos. También, presenta algunos retos importantes acerca de aprendizajes en ausencia de un guía experto. Finalmente, suministra un punto de partida para futuras exploraciones.

Peter Senge en 1990 publica el libro “La Quinta Disciplina, Las Organizaciones que Aprenden” donde define el P.S. como la quinta disciplina, la cual integran las otras cuatro: dominio personal, modelos mentales, visión compartida y aprendizaje

en equipo. Utiliza la conceptualización sobre los fenómenos en términos de diagramas de influencias, que en su estructura básica los denomina arquetipos, para discutir sobre la dinámica del comportamiento del fenómeno en estudio, sin presentar los modelos en términos de diagramas de Flujo-Nivel ni ecuaciones. Esta propuesta se basa en el pensamiento dinámico-sistémico como anteriormente se señala asociado a la D.S, para promover el aprendizaje organizacional.

En 1993, Frank Draper [18] en “Proposición de una secuencia para desarrollar el P.S. en el currículo de los grados 4-12” describe un plan basado en las formas de pensamiento de Richmond para introducir el P.S. a los estudiantes. Algunos asumieron que la D.S. era un elemento para ser aplicado solamente en niveles altos de educación. El autor fue pionero en empezar la reorientación del pensamiento acerca de las habilidades de los niños para comprender sistemas complejos.

En este mismo año, Ellen Mandinach y Hugh Cline [19] en “Sistemas, ciencia y colegios” presentan la investigación desde el P.S. e innovaciones curriculares en la evaluación del proyecto de Servicios de Pruebas Educativas. Se discute la implementación y el diseño de éste proyecto y presenta sus tres componentes: resultados del aprendizaje, comportamiento de los profesores y cambio organizacional. Para finalizar, los autores plantean una discusión sobre las demandas cognoscitivas en los procesos de modelamiento.

Forrester resalta que a pesar del potencial de la D.S, si fuera presentada en un escenario tradicional en la cual los estudiantes reciben cátedra pasivamente y se continuará con la forma de evaluación estándar ésta podría ser ineficiente. Poco se conoce acerca de cómo evaluar a los estudiantes que vienen del sistema educativo tradicional, pero resultados preliminares del uso de este nuevo enfoque en colegios, muestran que el registro académico del pasado no predice la manera cómo ellos responden a este nuevo programa. Concluye, que la D.S ofrece un marco de referencia para

brindar cohesión, significado y motivación a la educación, así como también el aprendizaje centrado en el estudiante le imprime el desafío y la emoción de un laboratorio de investigación. Estas dos innovaciones en conjunto, explotan la creatividad, la curiosidad y la energía de la gente joven.

A raíz de la preocupación de cómo llevar a la práctica educativa la D.S, que Forrester plantea, en junio de 2001, bajo su guía, se reunieron en Massachusetts, un grupo de profesores de escuelas y profesionales de la D.S para planear el futuro de la D.S en preescolar hasta el doceavo grado de educación, (K-12) en EEUU. Evaluando las tempranas experiencias en escuelas, el grupo articuló una visión de cuál educación basada en los principios de la D.S podría mejorar a los estudiantes y sus comunidades. Este grupo redactó una estrategia para llevar a cabo la visión y un plan detallado a 25 años para implementar la estrategia.

III. PRIMEROS INTERROGANTES Y TAREAS SOBRE UNA DINÁMICA DE SISTEMAS EN LA EDUCACIÓN, PARA LA COMUNIDAD LATINOAMERICANA

¿Cómo puede ser una propuesta pedagógica y metodológica, basada en el P.S y el modelado y la simulación con D.S, que asumiendo el contexto tecnológico aporte a la dinámica de cambio deseable en las prácticas que promueven el aprendizaje?

¿Cómo deberían ser los recursos informáticos para esta propuesta?

Se hace urgente la tarea de iniciar un proceso de ejecución de experiencias latinoamericanas de D.S desde los primeros grados, con un registro ordenado de evidencias que permitan el análisis y difusión de las mismas en toda la comunidad

REFERENCIAS

- [1] J.M. Gould-Kreutzer, *Foreword: System Dynamics in Education*. System Dynamic Review Vol. 9. No. 2, pp. 101-112. Summer 1993.
- [2] J. Forrester, *System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarten through 12th Grade Education*. Road Maps .1. System Dynamics in Education Project. System Dynamics Group. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. 1992
- [3] B. Richmond, *System Thinking: Critical Thinking Skills the 90s and Beyond*. System Dynamic Review Vol. 9. No. 2, pp. 113-133. Summer 1993.
- [4] D. Ford, *System Dynamic as a Strategy for Learning to Learn*. Conferencia de Dinámica de Sistemas. Quebec, Canadá 1998.
- [5] L. Stunz, D. Lyneis and G. Richardson, *El Futuro de la Dinámica de Sistemas y el Aprendizaje Centrado en el Aprendiz en la Educación de K-12*. Conferencia Internacional de Dinámica de Sistemas. Palermo, Italia. 2002.
- [6] H. Andrade y C. Parra. *Esbozo de una Propuesta de Modelo Educativo Centrado en los Procesos de Pensamiento*. Cuarto Congreso Iberoamericano de Informática Educativa, Brasil 1998.
- [7] _____, X. Navas. *La Informática y el cambio en la educación -Una Propuesta Ilustrada con Ambientes de Modelado y Simulación con Dinámica de Sistemas: Proyecto MAC-*. Primer Congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Monterrey, México. 2003.
- [8] _____, M. Guerrero, O. Vargas y L. C. Gómez, *"MAC 6-7 2.0": Micromundo para el Aprendizaje de las Ciencias de la naturaleza de sexto y séptimo grado*. Primer Congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Monterrey, México. 2003.
- [9] H. Andrade; I. Dyer; A. Espinosa and H. López SOTAQUIRA, Ricardo. *Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de Unidad*. Pág 171-253. Ediciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2001.
- [10] N. Roberts, *Dynamic Feedback Approach to Elementary Social Studies: A Prototype Gaming Unit*. Ph. D. Thesis , available from University Microfilms, Ann Arbor, Michigan: Boston University. 1975.
- [11] N. Roberts, *Dteaching Dynamic Feedback System Thinking: an Elementary View..* Management Science, Vol. 24, No. 8, pp. 836-43. 1978.
- [12] F. Litto, *Repensando la educación en función de los cambios tecnológicos y sociales y el advenimiento de nuevas formas de comunicación*. Conferencia del Tercer Congreso Iberoamericano de Informática Educativa. Barranquilla, Colombia. 1996.
- [13] W. Shewhart, *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. 1939.
- [14] W. E. Deming, **Out of Crisis**. MIT Center for Advanced Engineering Study. Cambridge, MA. 1982.
- [15] C. Frankfort-Nachamias and D. Nachamias, *Research Methods in the Social Sciences*. Edward Arnold. London. 1992.
- [16] P. Senge., *La Quinta Disciplina. Las organizaciones que Aprenden*. 1990.
- [17] H. Andrade, L. C. Gómez; N.Rey; E. Rallón y E. Galvis. *Expandiendo las posibilidades de aprendizaje del juego*

de la cerveza: una aplicación de SI/TI para potenciar el aprendizaje del pensamiento Dinámico Sistémico. II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Santa Marta- Colombia. 2004.

- [18] F. Draper. *A Proposed Sequence for Developing Systems Thinking in a grade 4-12 Curriculum.* System Dynamic Review Vol. 9. No. 2, pp. 207-214. Summer 1993
- [19] E. Mandinach and H. Cline, *Systems, Science and Schools.* System Dynamic Review Vol. 9. No. 2, pp. 195-206. Summer 1993.

Autores

HUGO HERNANDO ANDRADE SOSA

Profesor Titular Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática.

Director Grupo SIMON de Investigaciones en Modelos y Simulación.

UIS . Bucaramanga. Colombia

Miembro de la Sociedad Internacional de D.S.

Ingeniero de Sistemas y Magíster en Informática.

Investigador en el Modelamiento y Simulación de Fenómenos de Diversa Naturaleza, desde una Perspectiva Sistémica y Fundamentalmente con el lenguaje de la D.S.

handrade@uis.edu.co, handrade_sosa@hotmail.com

XIMENA MARCELA NAVAS GARNICA

Ingeniera de Sistemas.

Candidata a Magíster en Ingeniería. Área de Informática

Desarrolladora de MAC 6-7 1.0

Participante en las Investigaciones del Grupo SIMON en el área de Informática Educativa y Asesorías que el Grupo ha brindado. UIS . Bucaramanga. Colombia

Profesora del área de informática y tecnología. Colegio Infantas ECOPETROL 2000-2002, Barrancabermeja. Colombia.

Profesional del Proyecto Computadores para Educar. Convenio UIS-Computadores para Educar (CPE). 2005.

ximena_navasg@yahoo.com.mx

Modelización de Variables Soft

Adriana Maria Ortiz, Jose Maria Sarriegui, Javier Santos
amortiz@tecnun.es, jmsarriegui@tecnun.es, jsantos@tecnun.es

Tecnun - Universidad de Navarra

Pº Manuel de Lardizabal 13, 20018 Donostia – San Sebastián, España

Resumen —La relevancia de las variables soft en los sistemas empresariales ha crecido en los últimos años. La modelización de sistemas proporciona un mayor entendimiento sobre los sistemas, que podría ser aprovechado para el proceso de toma de decisiones. A pesar de la dificultad que implica su manejo, la construcción de modelos que incluyen variables soft resulta de gran ayuda para los gestores.

Existen diferentes paradigmas de modelización que dependiendo del propósito y de las características del fenómeno pueden ser más adecuados que otros.

En este trabajo se analizan las características de las variables soft y las particularidades, que para su estudio, presentan los paradigmas dinámicos de Econometría, Dinámica de Sistemas y Modelización Basada en Agentes.

Para analizar las ventajas y desventajas, de cada paradigma de modelización frente al tratamiento de variables soft, se presenta la exploración de un caso modelado en dichos paradigmas.

Índice de Términos —Variables soft, modelización, paradigmas, Econometría, SD, ABM.

I. INTRODUCCIÓN

Algunos términos como recursos intangibles, know-how y capital intelectual, son reconocidos como parte fundamental para la creación de valor de las organizaciones. Autores reconocidos en la literatura de gestión empresarial, coinciden en afirmar que estos factores generan una ventaja competitiva sostenible y que su naturaleza intangible hace especialmente difícil su medición y gestión [1]-[2]-[3]-[4]-[5]-[6].

En este contexto, la modelización de sistemas se presenta como una herramienta de ayuda para los gestores [7]-[8], que mediante la construcción de modelos, proporciona un mayor entendimiento de la estructura que genera los comportamientos del sistema observado y

permite hacer simulaciones creando diferentes escenarios.

Utilizando la modelización de sistemas se podrían mejorar los conocimientos sobre intangibles y por tanto su gestión, que se apoyaría entonces, no sólo en la información proveniente de la experiencia y formación de los gestores, sino también en el aprendizaje que les pueda aportar la modelización.

Los recursos intangibles son conocidos en el campo de la modelización de sistemas como “*variables soft*” y se caracterizan porque su representación numérica es compleja.

Estos recursos se crean y desarrollan en el entorno empresarial, que es dinámico por naturaleza.

Esta característica dinámica del sistema empresa, es la que lleva a la utilización de modelos dinámicos para el estudio de las variables soft.

En la última década se han publicado una gran variedad de modelos dinámicos que incluyen variables soft [9]-[10]-[11]-[12]. La mayor parte de éstos han sido construidos bajo el paradigma de Dinámica de Sistemas (SD).

La ausencia de modelos que incluyen variables soft en otros paradigmas de modelización, se debe quizás a que algunos de éstos construyen los modelos a partir de datos históricos, como por ejemplo, la Econometría, o porque son paradigmas relativamente nuevos de los que se conocen pocas publicaciones, como es el caso de la Modelización Basada en Agentes (ABM).

Algunos autores han indicado la dificultad para evaluar la fiabilidad, el realismo y la objetividad de los modelos que incluyen variables soft [13]-[14]-[15]-[16].

En respuesta a estas críticas, otros autores [17]-[18] han insistido en la necesidad de incluir este tipo de variables en los modelos. Consideran que omitir una variable soft, porque ésta no puede ser medida con precisión, es un error mucho mayor que el derivado de no medirlas según la limitada información que se pueda tener de expertos sobre el tema.

Ante esta situación, se concluye que a pesar de las dificultades que implica el manejo de variables soft, la construcción de modelos que incluyan este tipo de variables, puede ser de gran ayuda para los gestores. Por tanto, el objeto de esta investigación es buscar formas de mejorar el proceso de modelización de las variables soft.

II. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo se sitúa en el camino hacia la mejora de la construcción de modelos que incluyen variables soft y tiene dos propósitos fundamentales:

- Definir las características de las variables soft e identificar los problemas que afronta su modelización.
- Seleccionar, en función de las características de las variables soft, los paradigmas más adecuados para su tratamiento y estudiar a fondo sus ventajas y desventajas.

Para este último propósito, se utiliza la exploración de un caso modelado en los paradigmas de Econometría, Dinámica de Sistemas y Modelización Basada en Agentes.

III. VARIABLES SOFT

A. Definición de Variables Soft

Las “variables soft” son aquellas variables de las que no se tienen datos numéricos disponibles e incluyen factores como características cualitativas, percepciones y expectativas.

Son difíciles de estimar y puede resultar poco práctico e incoherente aplicar escalas universales para su medición [19]. Sus características fundamentales se pueden resumir en:

- a. Carecen de sustancia física.

- b. No pueden ser medidos de forma directa.
- c. Las leyes que determinan su dinámica de cambio tienen que ver con relaciones complejas causa-efecto de carácter no lineal y con existencia de retrasos.

Las variables soft incluyen factores como motivación, percepción de calidad, habilidad para gestionar o la reputación de la organización, que son ampliamente conocidos en la teoría organizacional como “intangibles”.

Además de algunos proyectos europeos, como que el proyecto Meritum (1998-2001), la Norma Internacional Contable (IAS) ^a, presentada en 1998 por la IASC, aborda la contabilidad y divulgación de activos intangibles.

Según esta norma, los intangibles pueden ser clasificados en los siguientes tres grandes grupos:

- a. Los adquiridos por terceros de forma individualizada.
- b. Los adquiridos como parte de un negocio.
- c. Los activos intangibles generados internamente.

Hall y Andriani [20] presentan una clasificación de intangibles que se ilustra en la siguiente tabla (Tabla I):

TABLA I

Protección legal	Posición de la empresa	Capacidades funcionales	Por cultura organizacional
Patentes	Reputación de la empresa.	Habilidades individuales.	Habilidad para administrar el cambio.
Derechos de autor	Reputación de los productos.	Conocimientos del personal.	Habilidad para innovar.
Secretos Industriales	Redes de distribución.	Experiencia.	Habilidad de trabajo en equipo.

Utilizando el término Capital Intelectual, Sveiby [4] clasifica los intangibles en tres grupos: Los de estructura interna, estructura externa y los que tienen que ver con las capacidades individuales. Cada grupo, a su vez, se divide de acuerdo con su función en: Indicadores de crecimiento y renovación,

^a IASC, la International Accounting Standard Committee (IASC), fue creada en 1973 con el objetivo de mejorar la presentación de informes financieros utilizados por las empresas y otras organizaciones de todo el mundo.

indicadores de eficiencia e indicadores de estabilidad como se resume en la Tabla II.

TABLA II

Indicadores	Estructura Interna (EI)	Estructura Externa	Capacidades Individuales
Indicadores de Crecimiento y renovación	-Inversión en EI. -Inversión en sist. de procesamiento de información. -Clientes que contribuyen a la IE.	-Rentabilidad por cliente. -Crecimiento orgánico.	-Antigüedad en la profesión. -Educación. -Costes de formación. -Influencia de las rotaciones de personal.
Indicadores de Eficiencia	-Proporción de empleados de soporte -Ventas por empleado. -Actitud de los empleados	-Tasa de clientes satisfechos. -Tasa de ofertas aceptadas. -Ventas por cliente.	-Proporción de profesionales. -Valor añadido por empleado. -Valor añadido por profesional.
Indicadores de Estabilidad	-Antigüedad de la organización. -Tasa de renovación del personal. -Fracción de "novatos".	-Proporción de clientes grandes. -Antigüedad de los clientes. -Fracción de clientes "fieles". -Frecuencia de repetición de pedidos.	-Edad media. -Antigüedad. -Sueldo relativo. -Tasa de renovación profesional.

Warren [11] comenta el impacto de los intangibles y añade que éstos pueden ser de dos tipos:

- Características o atributos asociados con recursos tangibles.
- Recursos "indirectos" que reflejan sentimientos y expectativas de personas, sobre asuntos que les conciernen.

En adición, Sterman [21] resalta los siguientes puntos en relación a las variables soft en los modelos dinámicos:

- Las variables soft deben ser incluidas si éstas son importantes para la finalidad del modelo.
- Se debe realizar un análisis de sensibilidad para considerar cómo pudieran haber cambiado las conclusiones obtenidas en el modelo si se hubieran utilizado otros posibles supuestos.
- Es importante usar métodos estadísticos apropiados para estimar parámetros o medir la habilidad del modelo para replicar datos históricos.

B. Problemas de Modelización de Variables Soft

En los paradigmas de Econometría y Modelización Basada en Agentes se desconoce la existencia de modelos que incluyan variables soft. Probablemente esto se deba a la restricción presente en Econometría de modelizar en base a datos históricos y a que el paradigma de

Modelización Basada en Agentes es relativamente nuevo y hasta hace poco no se empezaron a conocer trabajos que resaltan sus ventajas.

En la comunidad de Dinámica de Sistemas, la incertidumbre asociada a la medición de variables soft ha provocado que expertos consideren erróneos o poco probables los resultados obtenidos [14]. Éste ha sido un punto de partida de algunos cuestionamientos sobre la fiabilidad de los modelos que incluyen este tipo de variables (Coyle, Somenson, Nuthmann, Campbell, Richardson)^b

Coyle [13] hace especial mención a los problemas que implica la medición de variables soft en Dinámica de Sistemas, y basa su argumento en la afirmación "por persistir en medir lo que no puede ser medido nos arriesgamos a construir modelos inexactos y quizás con fundamentos erróneos".

Sterman [21], Richardson [18] y Forrester^c, objetan resaltando la importancia que tienen las variables soft en la gestión y consideran que es mejor explotar las aproximaciones que resulten en base a la experiencia, frente a no hacer un intento por medir las variables soft y dejar las decisiones estratégicas sólo a cargo de la intuición y la experiencia de los gestores. Estos autores también resaltan que omitir por falta de información, estructuras o variables que se sabe son importantes para el sistema modelado, es menos científico y menos preciso que utilizar la experiencia para estimar sus valores. La cuestión no es si se deberían incluir las variables soft en los modelos sino cuándo es necesario incluirlas y cómo deben ser medidas.

De acuerdo con Randers [22], el proceso de modelización puede ser dividido en cuatro estados: conceptualización, formulación, evaluación e implementación.

En cada etapa del proceso de modelización los problemas se hacen visibles de forma diferente. Sin embargo, la ambigüedad ocasionada por la inclusión de estas variables depende en esencia de su naturaleza intangible.

^b Comentarios de la Comunidad de Dinámica de Sistemas. <http://www.vensim.com/sdmail/sdinfo.html>

^c Comentarios de la Comunidad de Dinámica de Sistemas. <http://www.vensim.com/sdmail/sdinfo.html>

En el estado de *conceptualización*, es importante escoger y definir las variables soft y no soft, más importantes para el sistema a modelar. Se presentan dificultades para reconocer la necesidad de incluir las variables soft, ya que al ser variables que tienen efectos a largo plazo puede ser difícil reconocer su influencia a primera vista.

En esta etapa se pueden utilizar herramientas de Soft modeling, como las definidas por Coyle [23] y los diagramas causales utilizados en Dinámica de Sistemas para representar los conceptos y las relaciones entre las variables clave del sistema modelado.

Independientemente del paradigma de modelización utilizado, la *formulación*, es quizás el estado más complicado para el manejo de variables soft. En éste se define la estructura del modelo y los problemas derivan especialmente de no poder medir las variables soft de forma directa. Este problema obliga a tener que definir las variables en función de indicadores de los cuales puede ser muy difícil conseguir datos reales, por lo que, en ocasiones, se establece una medida categórica dada, según la experiencia y la intuición.

Jacobsen y Bronson [15], consideran que la operacionalización -nombre con el cual se refieren al proceso de convertir conceptos en datos observables- es un punto clave para la modelización. Además, los errores que se añaden en la operacionalización se multiplican cuando en un modelo aparece más de una variable soft.

Generalmente, una variable soft se mide mediante un indicador en función del cual puede variar dentro de un rango de valores. En ocasiones, el valor que se le asigna dentro del rango permitido no está claramente definido y justificado. Por tanto, el cálculo de una variable soft involucra una alta subjetividad y error que se multiplica al considerar que esta variable puede tener influencia sobre una segunda [14].

Por ejemplo, si se considera que la fatiga es una variable soft que depende de las horas extras que realiza una persona y que a su vez la fatiga es uno de los factores que afecta el clima laboral, el error de medición aumenta.

En un tercer estado del proceso de modelización se encuentra la *evaluación*.

Consiste en dar un paso hacia atrás para tantear si las hipótesis dinámicas cumplen con los modos de referencia y los supuestos definidos en la primera etapa. En esta etapa, los problemas de la modelización de variables soft están relacionados con la dificultad de establecer las relaciones de las variables soft y la imposibilidad para contrastar los resultados con datos reales.

Finalmente en la etapa de *implementación*, se prueba con diferentes políticas y escenarios para estudiar los comportamientos que se generan. Los dos puntos que ocasionan problemas son: la mala interpretación de los resultados, que como en las anteriores etapas, es el resultado de la dificultad para establecer la relación que tienen las variables soft con las demás variables del modelo y la falta de credibilidad en los resultados del modelo que es difícil de contrarrestar si no se tienen datos reales que demuestren lo contrario.

En resumen los problemas de la modelización de variables soft representados en las cuatro etapas del proceso de modelización se presentan en la siguiente figura (Fig. I):

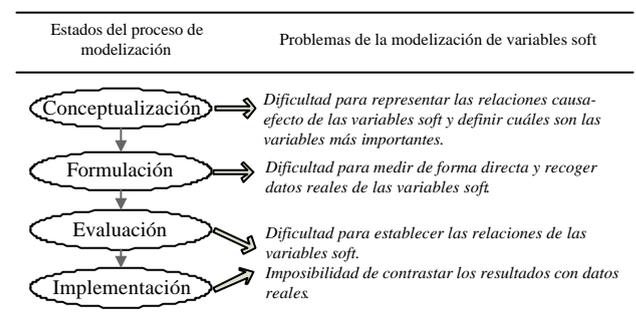


FIG. I. PROBLEMAS DE LA MODELIZACIÓN DE VARIABLES SOFT

IV. PARADIGMAS DE MODELIZACIÓN

Dependiendo del propósito para el cual se construye un modelo y de las características del fenómeno a estudiar, puede tener más aplicabilidad uno u otro paradigma de modelización. Incluso, en algunos temas, el hecho de trabajar con dos enfoques diferentes puede ser de gran utilidad [24].

Los distintos paradigmas de modelización utilizan algunos conceptos en común, como el significado de sistemas, teorías matemáticas y el rol de los modelos en la toma de decisiones.

No obstante, cada uno emplea sus propias teorías, técnicas matemáticas, lenguajes y procedimientos para construir y validar los modelos que desarrollan. Estas particularidades son las que de una u otra forma determinan la potencialidad de cada paradigma para el estudio de temas específicos.

En recientes trabajos de investigación se han planteado criterios de comparación de paradigmas de modelización, como Econometría (Econometric models), Dinámica de Sistemas (System Dynamics, SD), Simulación Discreta, (Discret Event, DE) y Modelización Basada en Agentes (Agent Based Modeling, ABM).

En cuanto a las comparaciones entre los modelos Econométricos y los de SD, los econométricos critican la falta de rigurosidad de SD para la operacionalización^d de conceptos y la incertidumbre estadística. No obstante, los modeladores de SD, inciden sobre la pérdida de realidad de los modelos econométricos en el intento por representar sistemas que se ajusten al uso de métodos estadísticos.

Por otra parte, Morecroft y Robinson [25] y Borshchev y Filippov [26] incluyen en sus trabajos comparaciones con DE. Afirman que la principal diferencia entre SD y DE se basa en que SD los modelos son determinísticos, es decir, en SD es la estructura de los modelos la que genera el comportamiento “complejo”^e. En cambio en DE, es la aleatoriedad de las variables la que determina la complejidad del comportamiento. El paradigma de modelización DE no es analizado en detalle en este trabajo y se considera incluido dentro del estudio de ABM, ya que éste es un método de simulación híbrido, visto como una evolución de DE.

Por otra parte, Scholl [27], da pie al comienzo de discusiones y trabajos de investigación sobre diferencias entre SD y ABM, haciendo un llamado a la participación en estudios sobre el tema.

Schieritz y Gröber [28] defienden el ABM como el mejor paradigma para el manejo de los

conceptos de “Emergencia y complejidad”. En consecuencia Lorenz y Bassi [24] aceptan como válido que ABM puede trabajar mejor en lo que se refiere a los procesos de adaptación, pero a su vez resaltan a favor de SD, la simplicidad de su lenguaje, característica a la que denominan como “Comprensibilidad” por parte del cliente del modelo (En inglés, Comprehensibility). En este sentido, resulta más difícil el entendimiento de las relaciones entre variables y el funcionamiento general en el paradigma de ABM.

Rahmandad [29], por su parte añade a la comparación entre SD y ABM, el concepto de heterogeneidad y estructura de red. Este autor apunta que los modelos en ABM incorporan heterogeneidad en los atributos de los agentes y en la estructura de las interacciones. El bajo nivel de agregación que utiliza ABM, permite que los modelos sean capaces de capturar el aprendizaje, el comportamiento y la dinámica de sistemas complejos. No obstante esta misma característica puede disminuir la comprensibilidad de los resultados que se obtienen.

A. *Econometría*

La econometría parte de la teoría económica y utiliza técnicas cuantitativas y conceptos de la economía y la estadística para analizar sucesos económicos. Sus modelos pueden ser usados para análisis estructural, para predecir o para experimentar los efectos de políticas alternativas.

Una de las principales características de este paradigma, es la verificación estadística de la estructura y los parámetros del modelo. Esto implica que cada variable analizada en el modelo debe tener las suficientes mediciones históricas, de tal forma que permita realizar la estimación cuantitativa de las relaciones con otras variables.

Debido a este requerimiento se tiende a eliminar información de los modelos, especialmente la que tiene que ver con el comportamiento humano que motiva las decisiones.

La formulación de un modelo econométrico puede dividirse en dos fases secuenciales: En la primera fase se identifica el problema y se

^d Concepto utilizado por Jacobsen(1987) para referirse al proceso de convertir conceptos en comportamientos o datos observables que un investigador pueda medir.

^e Se entiende por sistema complejo aquel que presenta relaciones causa -efecto no lineales y que además incluye retrasos.

define su trayectoria. En esta fase la precisión cuantitativa es innecesaria y probablemente inalcanzable puesto que en este punto, la información no es suficiente para decidir qué elementos cualitativos del sistema son significativamente importantes y cómo están relacionados[30].

En la segunda fase, se constituye la formulación de las variables, las relaciones entre éstas y la estructura del modelo. Al contrario que la primera, en esta fase la precisión cuantitativa tiene mayor importancia, ya que en ésta se estiman los valores de los parámetros de las ecuaciones. La principal técnica usada para obtener los parámetros de los modelos econométricos es la estimación de mínimos cuadrados (MC). MC es un método que genera un grupo de parámetros que mejor se adaptan a un postulado general de relaciones para datos históricos y que, además, proporciona una medida cuantitativa del ajuste a dicho postulado.

Los requerimientos teóricos y matemáticos de este método hacen que los modelos econométricos deban recurrir a ecuaciones lineales y algunas otras restricciones estructurales.

En lo que se refiere al tipo de modelos econométricos que se pueden construir, se podrían clasificar en dos grandes grupos según el número de ecuaciones que utilizan: uniecuacionales y de ecuaciones múltiples. Los modelos uniecuacionales son modelos de única ecuación y incluyen el modelo lineal general y los modelos de series temporales como: modelos autoregresivos (AR), de medias móviles (MA), modelos ARMA^f y modelos ARIMA^g. Los modelos de ecuaciones múltiples, son los que contienen más de una ecuación y pueden ser de bloques recursivos o de ecuaciones simultáneas. En la Tabla III se resume la clasificación de los modelos econométricos según el número de ecuaciones que manejan:

TABLA III

Modelos Uniecuacionales	Modelo lineal general
	Modelos de Series Temporales
Modelos Ecuaciones Múltiples	En cadena causal
	Bloque recursivos
	Ecuaciones Simultaneas

Los modelos econométricos también pueden manejar relaciones de realimentación a través de las variables retrasadas y las fórmulas que se utilizan no son esencialmente diferentes de las manejadas por los modelos en SD.

La función conocida en DS como *smooth*^h, es un ejemplo de similitud de la formulación matemática en DS y Econometría.

Algunas ventajas que se pueden resaltar de los modelos econométricos son:

- *Clasificación de variables:* En los modelos econométricos, se pueden distinguir explícitamente las variables que se estudian en el modelo (endógenas) de las que no (exógenas).
- *Utilización de métodos estadísticos para la validación:* Por el hecho de utilizar datos históricos de las variables es posible realizar cálculos estadísticos para validar el modelo.

A continuación, se resumen también las principales desventajas que presenta el paradigma:

- *Limitaciones para construir modelos sin datos reales:* La mayoría de sistemas están influenciados por factores que, en la realidad, no son medidos ni controlados. Por esta limitación, en la construcción de los modelos, se omiten con frecuencia variables que son importantes para el estudio del sistema y cuya ausencia puede conducir a soluciones parciales.
- *Limitaciones para la formulación de relaciones complejas:* Los supuestos de homocedasticidadⁱ y correlaciones, entre otros, dificultan el tratamiento de las relaciones complejas. Como consecuencia, los modelos econométricos tienden a representar modelos con alta linealidad y cerrados.

^f Los modelos ARMA, integran los modelos AR y MA en una única expresión. Por tanto, la variable queda expresada en función de los sus valores pasados y de los errores cometidos en la estimación.

^g Los modelos ARIMA equivalen a un modelo ARMA que se le aplica a una serie a la que es necesario integrar d (orden) veces para eliminar la tendencia. Posibilita el tratamiento de series temporales que correspondan a realizaciones de procesos estacionarios.

^h SMOOTH, es una función utilizada en Dinámica de Sistemas para calcular percepciones promedios o representar expectativas.

▪ *Pérdida de visión sistémica y realidad:* El intento por representar sistemas que se ajusten a los métodos matemáticos como los utilizados para el cálculo de los parámetros y la validación de los modelos, puede llevar a la pérdida de visión sistémica y a tener que convertir, por ejemplo, comportamientos dinámicos a estáticos para facilitar los cálculos.

▪ *Complejidad y difícil entendimiento de los modelos dinámicos:* La construcción de un modelo dinámico en econometría implica el manejo de un mayor número de ecuaciones que incluyen un mayor número de variables correlacionadas. Ésta condición eleva la complejidad y dificulta el entendimiento de los modelos. Además, los modelos econométricos sólo se apoyan en la representación por ecuaciones que resulta más difícil de comprender y más lejana al funcionamiento natural de los sistemas.

B. Dinámica de Sistemas

SD es un paradigma de modelización^j de carácter estructuralista que permite reproducir patrones de comportamiento de sistemas complejos[31].

La estructura global de los modelos en DS se establece mediante bucles de retroalimentación, que son circuitos cerrados de relaciones causales que pueden ser negativos o positivos. Éstos a su vez se componen de variables de nivel, de flujo y auxiliares. Las variables de nivel, representan el estado del sistema en un momento dado; Las variables de flujo, son las que determinan las acciones que cambian el estado del sistema y finalmente, las variables auxiliares, se utilizan para facilitar los pasos intermedios en la formulación de los flujos.

Matemáticamente un modelo en DS es un sistema de ecuaciones diferenciales de tipo:

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = FE_i(t) - FS_i(t) \quad i=1, \dots, n$$

$$\text{ó} \quad N_i(t) = N_i(0) + \int_0^t [FE_i(t) - FS_i(t)] dt$$

^j El paradigma de Dinámica de Sistemas fue desarrollado en MIT en los años 1950s por el ingeniero electrónico Jay Forrester, quien utilizó ideas como: Conceptos de Feedback y autorregulación de Ingeniería de Control, la naturaleza de la información y su rol en control de sistemas de la Cibernética y la estructura de las organizaciones y el proceso de toma de decisiones de la teoría organizacional.

Posteriormente algunos programas resuelven las ecuaciones por métodos numéricos, como el método de Euler.

Gráficamente, un modelo en SD se representa en forma de proceso, como se enseña en la siguiente figura (Fig. III)

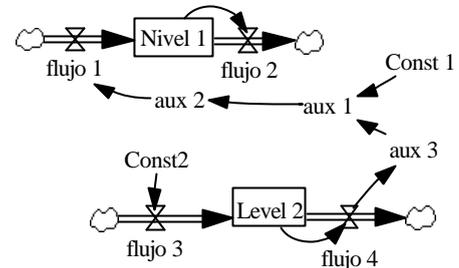


FIG. III. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS MODELOS EN SD

Debido al carácter estructuralista de SD, se entiende, que la evolución temporal de las variables del sistema modelado deriva del número de bucles, sus clases y la forma en que se combinen en el sistema.

Las principales ventajas de SD son:

- *Simplicidad para construir un modelo:* Para una persona con experiencia, construir un modelo en SD, es un proceso relativamente sencillo. Esta característica facilita la replicabilidad de los modelos y permite evaluar políticas fácilmente.
- *Visión global del sistema y relaciones entre variables:* SD utiliza una representación gráfica de los elementos y de las relaciones entre variables que facilita la visión holista del modelo.
- *Flexibilidad:* SD permite construir un modelo sin datos históricos de sus variables y genera los datos a partir de simulaciones repetidas (calibración).
- *Utilización de herramientas:* SD utiliza herramientas de data mining para estudiar los sistemas a modelar con la participación de profesionales del tema.

Entre las desventajas de SD se encuentran:

- *Dificultad para representar heterogeneidad:* Aunque es posible construir modelos con heterogeneidad en SD, resultan ser modelos de difícil manejo e interpretación por la cantidad de variables de nivel y flujo que incluyen.

- *Dificultad para representar el concepto de emergencia^k*: Los modelos en SD manejan niveles medio-altos de agregación que inhabilitan el concepto de emergencia.
- *Facilidad de manejo del software*: El software utilizado para la construcción de los modelos es muy fácil de manejar. De esta forma cualquier persona sin una base sólida de los principios del paradigma, podría construir modelos que lleven a conclusiones erróneas y al mal conocimiento del paradigma.

C. Modelización Basada en Agentes

En ABM, un sistema es modelado como una colección de entidades autónomas, llamadas agentes, que evalúan su situación y toman decisiones en base a los atributos y reglas que se les asigna.

ABM es un paradigma de modelización que ha sido recientemente usado para describir fenómenos sociales [26].

Los ABM están compuestos por tres elementos principales: los agentes, el entorno y las reglas. Los agentes son las personas o entidades de las sociedades artificiales¹. El entorno, es el medio o espacio abstracto sobre el cual los agentes interactúan y las reglas, son reglas de comportamiento para los agentes y para el entorno, que pueden ser de tipo: agente-entorno, entorno-entorno y/o agente-agente [32].

El supuesto clave que maneja este paradigma es que el comportamiento global del sistema resulta de las interacciones locales de los agentes y, por tanto, no existe un control global del sistema.

Según Bonabeau [33] y las conclusiones del Workshop de Agents Based Modeling: Why bother? de la International Conference of the System Dynamics Society, Boston 2005; las ventajas y desventajas de ABM se pueden resumir en:

Ventajas:

- *Provee una descripción natural del sistema:*

ABM representa los sistemas como un conjunto de entidades que realizan actividades en función de sus características. Describir y simular un sistema por eventos, resulta más natural y cercano a la realidad, que describir un sistema por procesos.

- *Incorpora heterogeneidad y discontinuidad en los agentes*: Permite definir agentes con diferentes características que, además, podrían ser modificadas en el tiempo por la ocurrencia de un evento.
- *Captura el fenómeno emergente*: ABM captura el fenómeno emergente porque permite definir reglas de comportamientos según las cuales los agentes interactúan para generar el comportamiento global del sistema. Esta ventaja hace que mediante ABM se puedan tratar comportamientos individuales más complejos como el aprendizaje o la adaptación
- *Flexibilidad*: La flexibilidad en ABM se denota por la posibilidad de definir reglas o eventos que pueden modificar los patrones de comportamiento en el tiempo.
- *Espacio*: ABM permite crear un espacio abstracto donde los agentes interactúan en función de la distancia. Facilita así la formación de clusters o grupos de agentes.

Algunas desventajas de ABM son:

- *Falta de representación de los bucles realimentados*: A diferencia de SD, ABM no maneja el concepto de bucle realimentado. Como consecuencia, es difícil ver la forma en la que responde el modelo a los eventos.
- *Dificultad para manejar y replicar*: Dado que para la construcción de los modelos ABM utiliza la programación orientada a objetos (OOP), éstos resultan más difíciles de replicar.
- *Perdida de control del sistema*: Si bien esta característica resulta ser una ventaja por la posibilidad de trabajar el concepto de emergencia, resulta ser una desventaja por la dificultad que implica para determinar la causa de algunos comportamientos.

V. PRESENTACIÓN DEL CASO

A. Objetivo del Caso

La construcción del caso tiene como propósito fundamental el aprendizaje.

^k Concepto que aparece en la teoría de la complejidad y es utilizado por Epstein y Axtell[32], para denotar patrones de comportamientos de los que se puede ver a simple vista que son generados por las interacciones locales de los individuos autónomos, que conforman el sistema.

¹ Término utilizado para referirse a los modelos de procesos sociales en AB.

Pretende estudiar el método de modelización de cada paradigma, para posteriormente analizar las ventajas y desventajas que cada uno proporciona en el caso concreto de la modelización de variables soft.

B. Diseño del Caso

El caso modelado representa un modelo de empresa en donde se considera el efecto de las variables soft “Clima Laboral” y “Formación” sobre la variable “Productividad”.

Se fundamenta en la teoría organizacional y las características definidas para la empresa a modelar son las siguientes:

- Empresa dedicada al desarrollo de software.
- Total de personas que trabajan, 10. Donde: 6 son Juniors, 3 Consultores y 1 Socio.
- Producción actual: 5 casos/semana = 20 casos/mes
- La política de la empresa en cuanto a horas de formación, establece un mínimo de 4 horas por persona-semana (16 horas/mes).
- El rendimiento planificado es de un caso por 60 horas persona, y se asume que el clima laboral influye sobre la eficiencia.

El modelo tiene en cuenta, que si son necesarias más horas de trabajo para desarrollar casos, el tiempo dedicado a la formación de las personas disminuye, sin que pueda salirse de los límites definidos por la política de la empresa. El horizonte a simular es de cinco años (48 semanas por año), 240 semanas en total.

En resumen, el supuesto clave es que, el clima laboral y el nivel de formación modifican el factor de productividad por persona, que en definitiva es el que determina el número de casos terminados.

En la Fig. IV se presenta el diagrama causal de las variables para el sistema modelado. En la figura se puede notar cómo el clima laboral está condicionado por la presión y el agotamiento causado por el número de horas trabajadas.

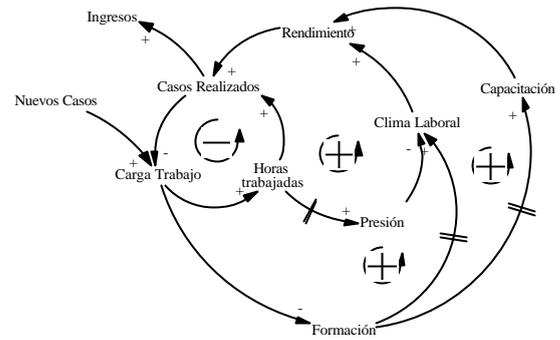


FIG. IV. DIAGRAMA CAUSAL DEL CASO

C. Modelos

La construcción de los modelos para el caso propuesto, está limitada por la falta de datos reales. No obstante, se opta por utilizar los conocimientos de teoría organizacional y consultar a un experto sobre el planteamiento del modelo y los modos de referencia que se utilizaron como guía.

Inicialmente, se construyó el modelo en el paradigma de SD, que posteriormente serviría como guía para construir los modelos de Econometría y ABM.

Debido a que en econometría no se puede construir un modelo sin valores históricos (series temporales) de las variables, se utilizaron los datos generados por el modelo de SD para su reproducción.

A pesar de que el modelo econométrico no se considera idóneo para realizar simulaciones, su construcción aporta al objetivo del caso, porque permite analizar las particularidades del paradigma de Econometría.

Se utilizaron los siguientes paquetes informáticos para la construcción del modelo en cada paradigma:

- El paquete estadístico SPSS para el modelo Econométrico de ecuaciones múltiples.
- El programa Vensim para el modelo en Dinámica de Sistemas.
- El software Anylogic 5.1 para la Modelización Basada en Agentes.

Según las posibilidades de cada paradigma, la información ha sido tratada como se indica en la siguiente tabla (Tabla IV).

TABLA IV
TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN LOS MODELOS

Paradigma	Manejo de la información dada
Econometría, SD y A4BM	-La función de las horas de formación y horas extras esta definida según la política de la empresa. Las horas de formación deben estar en el rango [10-4], sobre un total de 40 horas de trabajo semanales por persona. -Las horas extras no pueden superar las 4 horas/persona-semana. -Si llegan más casos de los que se pueden realizar, se rechaza la entrada a los nuevos.
Econometría y SD	-El clima laboral, formación y por tanto la productividad, se calculan como un promedio. - Los casos realizados se calculan en cada instante de tiempo en función del promedio de horas disponibles y del factor promedio de productividad. - Las horas dedicadas a formación y las horas extras se calculan a partir de la relación del plazo actual y el deseado.
ABM	-La carga de trabajo por trabajador es personalizada y en función de su rapidez de desempeño se le asigna más trabajo. -El clima laboral, la formación y la productividad, se calculan de forma individual. - Los casos realizados equivalen a la suma de los casos realizados por cada agente de forma individual. -Las horas extras y las dedicadas a la formación son calculadas por agente en función de la relación individual de plazos.

Para la simulación en SD y ABM se parte del estado de equilibrio en donde los valores para las variables claves son los siguientes:

TABLA VI
VALORES EN ESTADO DE EQUILIBRIO

Variables	Valor	Unidades
Nuevos Casos	5	casos
Casos Realizados	5	casos
Casos en curso	15	/semana
Media de Ultimos plazos	3	semanas
Horas Extras	0	horas/persona-semana
Horas Formación	10	horas/persona-semana
Media Horas Extras	0	horas/persona-semana
Clima Laboral	1	unidades
Capacitación	1	unidades

Para el análisis de sensibilidad del modelo se simularon diferentes escenarios junto con distintos pulsos de entrada para comprobar el funcionamiento de los modelos. Finalmente, las comparaciones entre los modelos de los tres paradigmas se hicieron en base al escenario con entrada aleatoria de nuevos casos entre los valores de [2-8] casos por semana, con un pulso de 20 casos en la décima semana.

D. Análisis: Comparación de los Paradigmas de Modelización

Autores como Schieritz y Milling [34] han propuesto algunos criterios de distinción entre los paradigmas de SD y ABM. En adición a la propuesta de estos autores, el análisis del caso permite añadir las características de los modelos Econométricos y menciona nuevos criterios de diferenciación como: el manejo del espacio, comprensibilidad, el objetivo de construcción del modelo y el manejo de heterogeneidad y redes.

En la Tabla V, se resumen los criterios de diferenciación entre los paradigmas de Econometría, SD y ABM, que se analizan a continuación.

TABLA V
CRITERIOS PARA LA COMPARACIÓN DE PARADIGMAS DE MODELIZACIÓN

Características	Econometría	SD	ABM
Formulación matemática	Ecuaciones con variables retrasadas	Ecuaciones Diferenciales	Lógica
Manejo del tiempo	Continuo	Continuo	Híbrido Eventos-Continuo
Representación gráfica	Ecuaciones	Bucles realimentados	Estructura de Agentes
Comprensibilidad	Compleja	Estructura visual	Bucles implícitos
Unidad de Análisis	Parámetros	Estructura	Reglas
Cambio de comportamiento	Cambio parámetros	Cambio Estructura	Cambio estructura
Nivel Agregación	Alto	Medio-Alto	Bajo-Medio
Origen de la dinámica	Relaciones entre variables	Niveles	Eventos
Heterogeneidad y manejo de redes	No tratado	Complejo	Utilizado
Objetivo de elaboración	Predicción	Aprendizaje	Aprendizaje

- *Formulación matemática y manejo del tiempo:* La descripción matemática para el caso en econometría corresponde al manejo de un sistema de ecuaciones múltiples, con interacciones que pueden utilizar valores pasados de algunas variables. SD, utiliza ecuaciones diferenciales con pequeños pasos de tiempo para simular la continuidad. Al igual que en Econometría, SD no distingue eventos. ABM también utiliza ecuaciones diferenciales que también hace uso de pequeños pasos de tiempo, pero en adición permite al modelador definir funciones especiales o la ocurrencia de ciertos eventos que pueden cambiar de estado y modificar el comportamiento global del sistema.

▪ **Representación:** En Econometría, tanto el elemento central como la representación lo constituyen las ecuaciones. SD y ABM en adición, utilizan representación gráfica de los modelos, que facilita el entendimiento de las relaciones. La representación por estructura de agentes de ABM es más natural que la de SD, pero es más difícil establecer las relaciones entre las variables.

SD utiliza bucles realimentados, que aunque permiten conocer en cualquier instante las relaciones causa-efecto, resultan más difíciles de captar a simple vista.

En la fig. V, se muestra la representación del modelo en cada paradigma:

Modelo Econométrico	Variables de Exógenas
	1. Nuevos Casos = NC
	2. $b_1 = 40$ horas/persona
	3. $b_2 = 10$ personas
	Variables Endógenas
	4. Capacitación
	$Cap_t = 0.100 + 0.845Cap_{t-1} + 0.006(HF_{t-1} - Cap_{t-1}) + e_{1t}$
	5. Casos Realizados
	$CR_t = -12.619 + 0.349(b_1 + HE_t - HF_t)b_2P_t + e_{2t}$
	6. Productividad
	$P_t = -0.191993127 - 0.234702212CL_t - 0.266346770CL_t^2 + 0.884556984Cap_t - 0.867509113Cap_t^2 + 0.842603295CL_tCap_t + e_{3t}$
	7. Clima Laboral
	$CL_t = 0.998 - 0.96MHE_t + e_{4t}$
Identidades	
8. Horas Formación	
$HF_t = 0.25 + 0.075(1 - RP_t)$	
9. Relación de Plazos	
$RP_t = \frac{MUP_t}{3}$	
10. Casos en Curso	
$CC_t = CC_{t-1} + NC_{t-1} - CR_{t-1}$	
11. Media de últimos plazos	
$MUP_t = MUP_{t-1} + \frac{\left[\left(\frac{CC_{t-1}}{CR_{t-1}}\right) - MUP_{t-1}\right]}{3}$	
12. Horas Extras	
$HE_t = 1.42857(RP_t - 1)$	
13. Media de Horas Extras	
$MHE_t = MHE_{t-1} + \frac{(HE_{t-1} - MHE_{t-1})}{4}$	

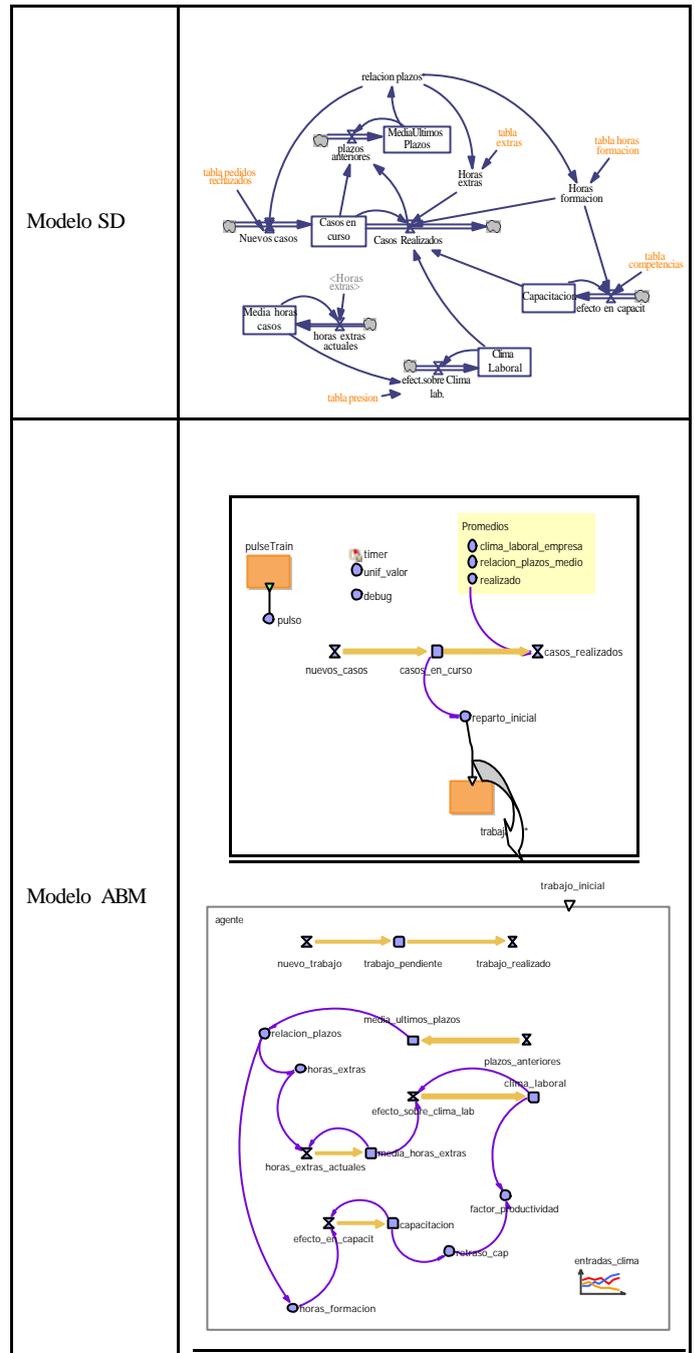


FIG. V. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MODELO EN LOS TRES PARADIGMAS

- **Comprensibilidad:** La representación por ecuaciones resulta más difícil para el aprendizaje. La descripción por bucles realimentados utilizada por SD, resulta muy útil porque éstos permiten conectar siempre la causa-efecto y facilitan la comprensión de los resultados. ABM por su parte, esta más enfocada al concepto de emergencia y **la falta de control general que le caracteriza, dificulta la vinculación de los eventos con los resultados.**
- **Unidad de Análisis:** La econometría se centra en la predicción de los parámetros para las ecuaciones de las variables endógenas del

modelo: Capacitación, Casos Realizados, Productividad y Clima Laboral.

Los parámetros de los modelos econométricos, generalmente se calculan por el método de mínimos cuadrados (OLS). Sin embargo, estos no resultan adecuados cuando se trata de modelos en los que existen interrelaciones, como ocurre en el modelo del caso. Por esta razón, se decidió utilizar el procedimiento de mínimos cuadrados en tres fases (3SSL) para el cálculo de los parámetros del caso.

Como consecuencia, se utilizó para el cálculo de los parámetros el procedimiento de

SD se caracteriza por dar más importancia a la definición de la estructura y establecer cuáles son las relaciones entre las variables de nivel, de flujo y auxiliares. Por su parte, ABM también da importancia a la estructura, pero está más enfocado en la definición de reglas, eventos o funciones que pueden modificar el estado de los agentes y por tanto el comportamiento de los agentes en el entorno.

La función definida en el modelo de ABM para hacer la distribución del trabajo, es un ejemplo de esta característica. El código OOP de la función es:

```
int elegido=uniform_discr(9);
for (int i=0;i<trabajador.size();i++)
{
    if (i==elegido)
        trabajador.item(i).nuevo_trabajo=carga;
    else
        trabajador.item(i).nuevo_trabajo=0;
}
debug=elegido;
```

Donde escoge de forma aleatoria a uno de los agentes y le asigna toda la nueva carga de trabajo.

- *Nivel de agregación:* Con respecto a este criterio, se puede decir que para el estudio de variables soft, se considera más adecuado el manejo de niveles de agregación bajo-medio.

Econometría trabaja con niveles de agregación altos, que en algunos casos son consecuencia de la necesidad de simplificar los modelos para facilitar la solución de los mismos. En Econometría y SD es posible desagregar la estructura y distinguir por características y/o atributos a las personas y casos del modelo. No obstante el resultado podría ser un modelo complicado y más difícil

de entender que el proporcionado por el modelo de ABM.

- *Origen de la dinámica y Heterogeneidad:*

Los modelos de Econometría y SD son modelos dinámicos, en los que para cada instante de tiempo, se calculan las variables en función de su relación con otras y con propios valores en el pasado.

Por ejemplo: La llegada de nuevos casos en los tres paradigmas se calcula generando una entrada aleatoria entre [2-8] nuevos casos por semana, así:

NC= (RANDOM UNIFORM(2, 8,5))*(tabla pedidos rechazados(relacion plazos))

Este criterio probablemente comprende la característica más importante de ABM, ya que se caracteriza porque combina la simulación continua con la simulación por eventos, conocida como híbrida.

La posibilidad que ofrece de combinar los dos tipos de simulación, permite que el comportamiento continuo del sistema pueda ser redireccionado o modificado por la ocurrencia de un evento. Aunque en el modelo construido no se llegaron a utilizar los diagramas de estado, es conocido que ofrece la posibilidad de definir diferentes estados para los agentes, según los cuales, las reglas de comportamiento agente-agente o agente-entorno podrían ser modificadas.

VI. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las conclusiones del trabajo realizado se resumen en:

- La limitación de los modelos econométricos para la construcción de modelos sin datos es un punto importante para descartar su posible utilización para construir los modelos que incluyen variables soft. No obstante, podrían estudiar las herramientas estadísticas que se utilizan para la comprobación de las relaciones entre variables, como el data mining y algunas otras para evaluar la fiabilidad de los modelos.

- La metodología que se utiliza para construir un modelo es tan importante como su uso. Por tanto, la definición y uso de una metodología para la modelización de variables soft aportaría precisión y fiabilidad a los modelos.

- Se considera conveniente estudiar detalladamente las escalas de medición que se utilizan para calcular las variables soft.
- Se deben estudiar más a fondo las herramientas metodológicas que ofrece el paradigma de modelización de SD para la construcción de modelos.
- Es necesario estudiar un caso real y crear el correspondiente modelo en los tres paradigmas. Sólo de esta forma se podría evaluar cuál de ellos presenta resultados más fiables y aporta más como herramienta de aprendizaje.

REFERENCIAS

- [1] R. Hall, "What are Strategic Competencies?," in *From Knowledge Management to Strategic Competence*, vol. 3, 2000, pp. 26-49.
- [2] I. Nonaka and H. Takeuchi, *The Knowledge-Creating Company*. New York Oxford: Oxford University Press, 1995.
- [3] C. K. Prahalad and G. Hamel, "The core competence of the corporation," *Harvard Business Review*, vol. 68, pp. 79-91, 1990.
- [4] K. E. Sveiby, *The New Organizational Wealth*: Editorial Berrett-Koehler Publishers, 1997.
- [5] R. S. Kaplan and D. S. Norton, *El Cuadro de Mando Integral: Gestión 2000*. Barcelona, 1997.
- [6] J. Tidd, *From Knowledge Management to Strategic Competence*: Imperial College Press, 2000.
- [7] P. Bradl, "The Use of System Dynamics in Management Reasons and Applications," 2003.
- [8] J. L. Seung Ik Baek, and Srinivas Y. Prasad and M. J. Granger, "An Intelligent Agent-Based Framework for Knowledge Management on The Web: An Exploratory Study of A Virtual Team in Designing A Multimedia System."
- [9] R. Oliva and J. D. Sterman, "Cutting Corners and Working Overtime: Quality Erosion in the Service Industry," *Management Science*, vol. Vol.47, pp. 894-914, 2001.
- [10] N. P. Repenning and J. D. Sterman, "Unanticipated Side Effects of Successful Quality Programs: Technical Documentation," 1994, pp. 207.
- [11] K. Warren, *Competitive Strategy Dynamics*. London: John Wiley & Sons, Ltd, 2002.
- [12] E. Zahn, r. Dillerup, and U. Schmid, "Strategic evaluation of flexible assembly systems on the basis of hard and soft decision criteria.," *System Dynamics Review*, vol. 14, pp. 263-284, 1998.
- [13] G. Coyle, "the practice of System Dynamics: Milestones, lessons and ideas from 30 years experience," *System Dynamics Review*, vol. 14, pp. 343-365, 1998.
- [14] G. Coyle, "The validation of commercial system dynamics models," *System Dynamics Review*, vol. 16, pp. 27-41, 2000.
- [15] C. Jacobsen and R. Bronson, "Defining sociological concepts as variables for system dynamics modelling," *System Dynamics Review*, vol. 3, pp. 1-7, 1987.
- [16] L. F. L. Reyes and D. L. Andersen, "Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: methods and models," *System Dynamics Review*, vol. 19, pp. 271-296, 2003.
- [17] J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*: Productivity Press, 1961.
- [18] G. P. Richardson, "Reflections for the future of system dynamics," 2001.
- [19] A. C. McLucas, "Incorporating Soft Variables into System Dynamics Models: A Suggested Method and Basis for Ongoing Research," presented at 22nd ICSDS. Oxford, 2004.
- [20] R. Hall and P. Andriani, "Management Focus Analysing Intangible Resources and Managing Knowledge in a Supply Chain Context," *European Management Journal*, vol. 16, pp. 685-697, 1998.
- [21] J. D. Sterman, "All models are wrong: reflections on becoming scientist," *System Dynamics Review*, vol. 18, pp. 501-531, 2002.
- [22] J. Randers, *Elements of the System Dynamics Method*: Productivity Press. Cambridge, Massachusetts and Norwalk, Connecticut, 1980.
- [23] G. Coyle, "Qualitative and quantitative modelling in system dynamics: some research questions," *System Dynamics Review*. Copyright © 2000 John Wiley & Sons, Ltd. Accepted September 2000, vol. 16, pp. 225-244, 2000.
- [24] T. M. Lorenz and A. M. Bassi, "Comprehensibility as a discrimination criterion for Agent-Based Modelling and System Dynamics," pp. 19, 2004.
- [25] J. Morecroft, "Explaining Puzzling Dynamics: Comparing the Use of System Dynamics and Discrete-Event Simulation," presented at 23th ICSDS, Boston, 2005.
- [26] A. Borshchev and A. Filippov, "From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools," presented at 22nd ICSDS, Oxford 2004, 2004.
- [27] H. J. Scholl, "Agent-Based and System Dynamics Modeling: A Call for Cross Study and Joint Research," 2001.
- [28] N. Schieritz and A. Gröbler, "Modeling the Forest or Modeling the Trees: A Comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation," *IEEE Computer Science*, 2002.
- [29] H. Rahmandad, "Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Contagion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models," 2004.
- [30] A. Pulido, *Modelos Económicos*, Tercera Edición ed. Madrid: Ediciones Piramide S.A., 1989.
- [31] D. H. Meadows, *The Unavoidable a priori*. Norway: Jorgen Randers, 1980.

- [32] J. M. Epstein and R. Axtell, *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom up*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press The MIT Press, 1996.
- [33] E. Bonabeau, "Agent-based Modeling: Methods and techniques for simulating human systems," vol. 99. www.pnas.org, 2002.
- [34] N. Schieritz and P. M. Milling, "Modeling the Forest or Modeling the Trees: A Comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation," *System Dynamics Society*, 2003.

MODELO DINÁMICO DE INTERVENCIÓN Y APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL

Velásquez Contreras, Andrés Tarcisio.
avelasquez@ean.edu.co, anveco01@yahoo.com,
 Escuela de Administración de Negocios

Resumen—El cambio organizacional requiere de un diagnóstico o análisis del estado actual de la empresa, mediado por personas y esquemas de planeación, el éxito de la implementación del plan de cambio, radica en relaciones complejas y dinámicas de distintos actores, esas relaciones es posible modelarlas mediante dinámica de sistemas; para explicar las relaciones causales, los obstáculos o demoras que retardan o inhiben el cambio, es decir, los elementos que facilitan o demoran el aprendizaje organizacional.

Índice de Términos— Administración del cambio, Aprendizaje organizacional, Diagnóstico organizacional, Dinámica de sistemas, Intervención organizacional.

I. INTRODUCCIÓN

EN EL PRESENTE TEXTO, SE EXPONE UN MODELO DINÁMICO SOBRE LA TRANSFORMACIÓN DE LAS ORGANIZACIONES EN EL CONTEXTO SOCIAL Y PRODUCTIVO, PROFUNDIZANDO EN LOS CONCEPTOS DE DIAGNÓSTICO, APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL Y LOS OBSTÁCULOS QUE LO INHIBEN. El propósito es despertar en el lector la necesidad de aplicar en una consultoría o en un proceso de cambio empresarial los conceptos mencionados, sobre los ciclos que constituyen el proceso de transformación y especialmente sobre las rupturas asociadas que provocan efectos negativos importantes para demorar el cambio del individuo y la empresa. Cuantas veces un gerente o empresario se ha preguntado: ¿Por qué tal o cual plan no se concreto? y ¿Por qué los resultados no son los esperados?, más grave aun ¿Por qué un proceso de transformación organizacional, una implementación

de un nuevo software o incluso la puesta en marcha de un sistema de gestión de calidad, es tan demorado, costoso y en ocasiones infructífero?

II. MARCO TEÓRICO

A. *Objetivo*

Describir un método para el análisis situacional e intervención en pequeñas y medianas empresas, basado en dinámica de sistemas y aprendizaje organizacional. Se pretende explicitar el proceso de aprendizaje entre consultores y gerentes en un espacio de estructuración social para la descripción de la situación actual de la organización objeto de transformación, mediante la valoración e identificación del modelo mental y de acción del empresario, en relación con un consultor y una ruta de cambio.

B. *Método*

El sentido “del diagnóstico es establecer hechos e identificar problemas y, tal vez incluso, efectuar comparaciones y evaluaciones. Existen muchos métodos disponibles, y estos son cada vez más prolíficos y más complejos. Incluyen aspectos como encuestas de actividades, entrevistas, cuestionarios, datos de fuentes asequibles... Todo diagnóstico debe combinar la experiencia de los administradores de operaciones, de diversos niveles, con las capacidades y las percepciones de quienes impulsan el cambio.”[1]. El paso a seguir es entonces el diseño de un plan de acción, más completo aun más una *ruta de cambio*. El **análisis situacional** comprende de manera simultanea el diagnóstico y diseño de ruta. La ruta de cambio más que un plan de acción, es el establecimiento de objetivos integrados de carácter sistémico, asociados a mecanismos de control e indicadores, tácticas de

comunicación e instrumentos para el cambio de modelos mentales mediante la superación de obstáculos de aprendizaje.

El método para el diseño e implementación de una *ruta de cambio* es complejo, diverso, con una gran cantidad de distinciones subyacentes. El Grupo de Investigación de la Escuela de Administración de Negocios en gestión (G-PyMEs) en conjunto con empresarios ha gestado y probado un holón de instrumentos; Matrices situacionales por componente organizacional, Informe Gerencial, Mapa de Objetivos, Plan de Acción, Taller de Orientación Estratégica (TOE), perfiles gerenciales y de aprendizaje, con los cuales diseña la *ruta* mencionada.

El Modelo de Modernización Empresarial de la EAN [2], trabaja de manera sistémica y estratégica los componentes claves de la empresa:

- Dirección estratégica
- Gestión de mercados
- Gestión financiera
- Gestión de operaciones
- Gestión humana y cultura organizacional
- Gestión ambiental
- Gestión del conocimiento
- Desarrollo organizacional: Estructura y cultura
- Comunicación e información

Es necesario destacar dos componentes la gestión de conocimiento y el de comunicación e información, aspectos trabajados bajo la teoría de creación de conocimiento y la pragmática respectivamente.

C. Conceptos

A partir de la experiencia en la aplicación del Modelo de Modernización Empresarial (MME-EAN) y la necesidad de fundamentar sus resultados como generador de cambio que ha sido, podría acogerse las siguientes distinciones esenciales: Organización, Estructura y Situación.

Organización: Es un fenómeno emergente, constituido por una **red cerrada** de **relaciones** entre personas, mediatiza por un sistema de **roles** y

significados, que tiene **identidad** o **invariantes**. [3], [4].

Estructura: Corresponde a las **relacionamientos** entre los **roles** y los **recursos** en un momento determinado. Es decir, las **formas de materialización** de estas relaciones son la **estructura de una organización** en un espacio y tiempo específico, [5].

Situación: Es una descripción o identificación de los **modelos mentales**, las **relaciones** y los **modelos de actuación** en una organización. Esta se construye a partir de conversaciones semi-estructuradas entre los principales miembros de la organización y los expertos o consultores. Esta descripción se sintetiza en un **informe gerencial**.

La manera en que está relacionado el individuo con la organización, la estructura y la situación, es la caracteriza dinámica de la transformación, entre su modelo mental y su modelo de actuación en un dominio de acción particular. El modelo mental son las distinciones que él realiza en un sistema y el modelo de actuación es el conjunto de practicas de interacción para lograr una transformación. Así la red de relaciones entre los individuos y las transformaciones logradas constituyen la empresa. Figura No. 1. Las demoras consisten en tiempos de espera para observar los resultados después de ejecutada una acción o la comprensión de una nueva idea, es decir, la incorporación de la nueva distinción al modelo mental.

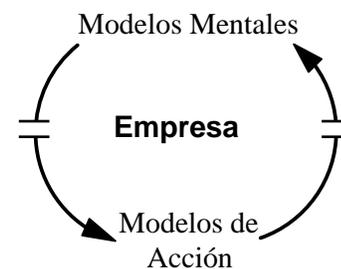


FIGURA NO. 1

La brecha (o demora) entre los modelos mentales y los modelos de acción es el primer punto de diagnóstico por parte del *dinamizador del cambio (coach)*, sea miembro de la empresa o consultor

externo. “Una cultura de aprendizaje y *coaching* puede ofrecer la mejor oportunidad de atravesar la inquietante ola de cambio que las empresas afrontan”, [6]. El agente de cambio será una persona que brinda ayuda técnica, especializada o de asesoría para administrar un esfuerzo de cambio, [7]. Sólo a partir de la transformación de los modelos mentales, acerca del mundo real, se produce aprendizaje profundo, [8].

El enfoque de sistemas aplicado al aprendizaje organizacional, puede ser utilizado de diversas formas. Una de ellas consiste en estructurar modelos para explicar las funciones de los individuos dentro de la organización y sus correspondientes interrelaciones, permite el desarrollo de competencias para un mejor desempeño en la organización, [9]. Otra es describir el proceso de aprendizaje en relación con el cambio organizacional como un ciclo doble, [10]. Figura No. 2:

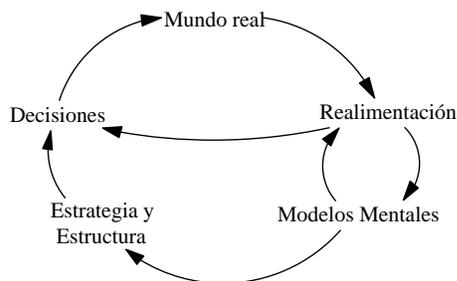


FIGURA NO. 2

Se reitera que el aprendizaje es un proceso de realimentación observar-evaluar-diseñar-implementar para tomar decisiones. La información de realimentación es interpretada por los individuos estructurando los modelos mentales para actuar en contexto. Es un continuo de construcción entre el individuo y el entorno. Es necesario introducir la distinción *tipos de cambio*; cambio 1 y 2 [11], cambio de circuito sencillo y doble [12], o de primero y segundo orden [13]. A estas clases de cambio se le colocan distintas etiquetas, podríamos llamarlos cambio recurrente para el primero y cambio recursivo para el segundo. Más adelante explicare, que el gerente trabaja el cambio de tipo 1, es decir, el recurrente y no el recursivo, necesario para que el mismo cambie, aquí la importancia de un consultor o foráneo al sistema.

En el libro *La Danza del Cambio*, Senge & otros [14], plantea tres ciclos básicos que dominan y describen el cambio organizacional (figura no. 3).

R1: Resultados individuales. Los beneficios personales están íntimamente relacionados con los resultados individuales. El individuo busca alegría en el trabajo. El empleado no es un insumo de producción. Es necesario alcanzar compromiso mediante credibilidad, mensajes claros y un discurso coherente que seguramente le costará dinero a la organización, será una inversión con grandes resultados.

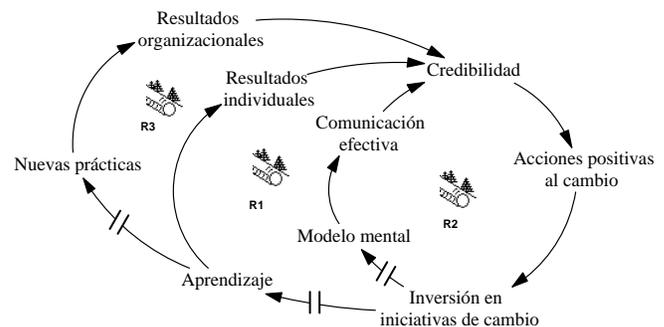


FIGURA NO. 3. DINÁMICA DEL CAMBIO, [15].

R2: Redes de gente comprometida. Las redes y la comunicación efectiva de conocimiento son el medio para generar y difundir innovación. Es importante reconocer que el tiempo de reuniones (bien manejadas) es una inversión no es una pérdida de tiempo. Allí se comparte el progreso, se logra la cooperación, la integración de roles y la exposición de modelos mentales compartidos.

R3: Resultados organizacionales. Las nuevas prácticas es el objetivo de este ciclo. De los cambios en los modelos mentales surgen las nuevas prácticas y de estas los resultados esperados, es un ciclo creciente, el dueño o gerente es responsable de ofrecer los mecanismos para aumentar el aprendizaje y disminuir las esperas o rupturas.

Otra alternativa es la David Lane, [16], una metodología de consultoría para soporte a las decisiones que involucra el uso de herramientas de análisis en comunión con los clientes. El modelo de consultoría basado en aprendizaje, es un proceso iterativo para completar los resultados y mejorar las

decisiones. Los aspectos claves del proceso son: a) Discusión con la gerencia, b) Captura de modelos mentales, c) Consideración de los problemas suaves, d) Apropiación del modelo, y e) Interpretación y uso del modelo por los clientes.

De esta manera poco ortodoxa, entre malas interpretaciones y conceptos acomodados, se presenta a continuación una alternativa posible para modelar el Modelo de Modernización Empresarial (MME). Ahora se detallara su estructura y dinámica.

III. DINÁMICA DEL MODELO

La dinámica del MME-EAN, Figura No. 4, inicia con un ciclo de construcción de la imagen de la **situación** actual de la empresa, la cual examina los **modelos mentales** y de **actuación** de los miembros de la organización bajo el criterio de las *prácticas modernas de gestión*. Se organiza y clasifica la información en **matrices de situación** que establecen el perfil de la brecha de cambio. Se produce un **informe gerencial** en el que se expone al gerente o grupo administrativo de la empresa intervenida, una **ruta de cambio** constituida por un **mapa de objetivos**, un **plan de acción** y los posibles **indicadores** que permitirán la realimentación del proyecto.

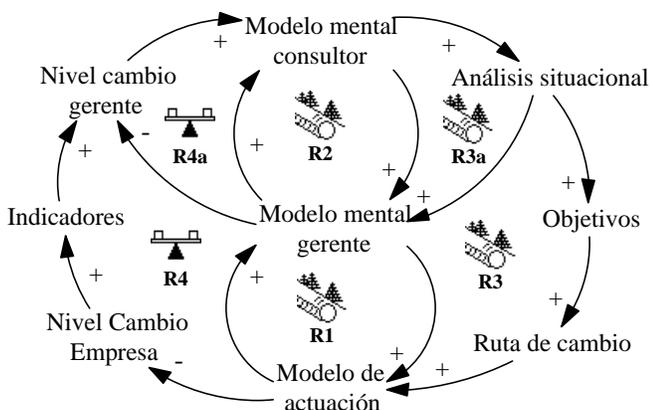


FIGURA NO. 4. DINÁMICA DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RUTA DE CAMBIO

Este primer acercamiento, entre el *dinamizador* de cambio o experto, genera ajustes al **informe gerencial** y por supuesto a la **ruta de cambio**. Acordada ésta última, se inicia la modernización de la empresa. Entonces los ciclos determinantes de este modelo entran en acción:

R1: Ciclo Individual. Modelo mental y de acción del gerente, estilo de dirección y gestión actual. El gerente de la PyME se caracteriza por concentrar todas las decisiones, generalmente el se ha hecho a puro pulso y maneja el día día, sin mayor planeación. Los cambios generados por éste gerente son del tipo 1, son recurrentes y en muchos casos, existe una brecha grande entre los modelos mentales (teoría expuesta) y los modelos de acción, este ciclo se mantiene, hasta que la empresa entra en crisis o hasta que la complejidad ha llegado a un punto que requiere un atenuador, la alternativa es contratar profesionales o solicitar una consultoría. La polaridad es positiva y los cambios en **R1** son de tipo 1.

R2: Ciclo colaborativo. Modelo mental del gerente y del consultor, ciclo de cooperación fundado en la confianza y el conocimiento. Este ciclo presupone que el consultor puede influir positivamente en el empresario, promoviendo cambios recurrentes y recursivos, la confianza se genera cuando la ruta de cambio efectivamente se concreta, es decir, cuando el gerente percibe los resultados de sus acciones. En el sentido del modelo OEDI (Observar, Evaluar, Diseñar, Implementar) de Koffman [17].

R3: Ciclo de actuación. Este ciclo se inicia a partir de observar la situación actual de la empresa, se diseña un mapa de objetivos, una **ruta de cambio** de manera conjunta entre el gerente y el consultor, es la fase preparatoria para la implementación. El ciclo de actuación se cierra en el instante que el modelo de acción del gerente estimula cambios. Es probable que medie una demora para evidenciar los cambios, y la disminución del nivel de cambio en la empresa, la cual converge a los objetivos planteados.

R4: Ciclo de control. Se evalúa la coherencia entre modelo mental y de actuación del gerente, se establece el estado de la nueva situación actual respecto de indicadores, realimentando el nivel de cambio del gerente y la organización, conforme a los resultados y a la efectividad del acompañamiento del consultor (*coaching*). Se regresa a **R1**.

R3a y R4a: Son dos ciclos auxiliares, el primero describe el ciclo de conversación de construcción de imagen compartida para fortalecer el ciclo colaborativo, **R2**. El segundo fortalece la imagen compartida del ciclo de control, **R4**. Estos ciclos regulan la relación gerente-consultor, son claves para el desarrollo de confianza.

¿Cómo garantizar que la ruta de cambio se concrete, que los resultados sean positivos y coherentes con lo planteado? Mediante la superación de los obstáculos presentes en los ciclos del aprendizaje individual y el organizacional.

Entonces, *la ruta de cambio* debe estar acompañada de un *modelo de aprendizaje organizacional* a la medida de los perfiles de los directivos, de los mandos medios y de los trabajadores, este debe incluir, diseño de *Micromundos*[18], discusiones dirigidas, ejercicios de priorización cuantitativa y cualitativa, juegos de roles, análisis de desempeño de tareas y de proceso, manejo eficaz de reuniones y procesos de creación de conocimiento.

IV. APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL[19]

Las organizaciones no pueden crear conocimiento sin individuos. A menos que el conocimiento individual se comparta con otros individuos y grupos, el conocimiento tiene un impacto limitado en la efectividad organizacional. Algunos aspectos a considerar en la **formulación estratégica** son:

a) Los mecanismos de aprendizaje, b) Organizaciones como sistemas de aprendizaje, c) Las oportunidades de aprendizaje, d) La adquisición del conocimiento y el aprendizaje, e) Acceso versus adquisición del conocimiento, f) La efectividad del aprendizaje y g) La estabilidad de las conexiones. [20]. ¿Qué es la creación y aplicación de conocimiento? Es tecnología, por tanto innovación. Así, estos elementos de aprendizaje propician el cambio organizacional hacia la innovación, crea la posibilidad de conducir una PyME de **supervivencia** a una **innovadora**, éste es el sentido de *implementar una ruta de cambio*.

Se ha mencionado que es posible identificar ciclos de acción que transforman, sin embargo, no se han descrito, sólo se ha delineado su contexto. El individuo constantemente estructura la realidad, ¿Cómo lo hace?, el concepto de aprendizaje es la clave, para establecer la respuesta. Aquí se describen los ciclos básicos para el aprendizaje individual y organizacional, además a manera de ejemplo una de las clases de obstáculo que lo inhiben, según los argumentos de Raúl Espejo y otros [17], en el texto *Organizational Transformation and Learning*. Para lo cual se requiere de algunas distinciones que tomare prestadas de Zarama, R. y Reyes, A. [21]:

Dominio de Acción: Es un espacio de interacciones sociales en donde las personas actúan y coordinan sus acciones para producir una transformación.

Conocimiento: Es un juicio hecho por un observador sobre la competencia de otro o de sí mismo en un dominio de acción.

Aprender: Entañar o incorporar la distinción en nuestras acciones de forma transparente.

Aprendizaje Individual: Es el proceso mediante el cual incrementamos nuestra capacidad de acción en un dominio de acción seleccionado tácita o explícitamente. Este dominio puede ser personal u organizacional.

Aprendizaje Organizacional: Una organización aprende cuando las personas en la organización comparten su aprendizaje individual, crean mapas y modelos mentales compartidos.

Más allá de comprender el concepto de aprendizaje individual y la incidencia de éste en el aprendizaje organizacional, es clave identificar los obstáculos que lo inhiben o restringen, así también es importante establecer qué ciclos de aprendizaje son interrumpidos y bajo qué modalidad. Identificadas las rupturas entonces será posible diseñar estrategias que permitan eliminar los obstáculos.

A. *El Aprendizaje Individual Restringido por el Rol*

Aprendizaje restringido por el rol es una clase de obstáculo que inhibe el aprendizaje individual, por tanto el organizacional, básicamente consiste en que conceptualmente se aprende pero que el individuo no puede llevarlo a la acción. Esta clase de obstáculo es muy común en las organizaciones colombianas[22]. Los fundamentos teóricos para esta interpretación están en los aportes de Koffman con el modelo **OEDI** (Observar, Evaluar, Diseñar e Implementar), March y Olsen con el ciclo de Aprendizaje Organizacional, Chris Argyris y Schon con los niveles de aprendizaje y el de Daniel Kim [23], modelo OEDI-MMC (**MMC: Modelos Mentales Compartidos**, SMM: Shared Mental Model), del cual se desprenden los ciclos sencillos y dobles de aprendizaje individual y organizacional.

El modelo OEDI elaborado por Koffman indica que el aprendizaje individual es un proceso cíclico llevado a cabo por una persona bajo un rol organizacional, siempre y cuando no se presenten obstáculos. El modelo se describe en cuatro etapas, figura 5:

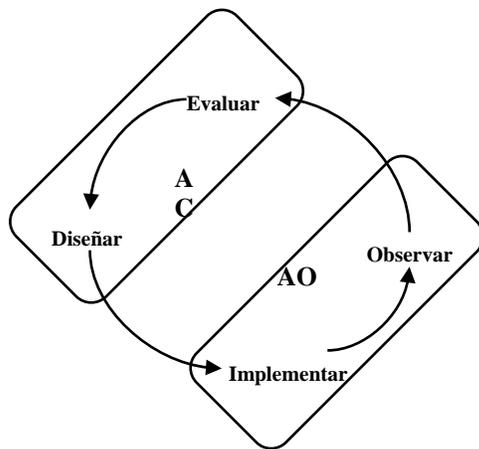


FIGURA 5. CICLO DE APRENDIZAJE INDIVIDUAL OEDI

Aprendizaje conceptual (AC): Es el que permite a un individuo u organización evaluar y diseñar.

Aprendizaje operacional (AO): Es el que permite a un individuo u organización Implementar y observar.

El ciclo propone que el aprendizaje individual inicia con la implementación o acción de un sujeto

u organización, la cual tendrá efecto en el medio y luego ese efecto es observado por el sujeto. El individuo hace una evaluación en donde elabora una explicación de la diferencia que observa entre lo que ocurre y lo que espera, diseña una estrategia que responda a la evaluación e implanta la o las estrategias respectivas. El círculo se cierra con la observación de lo que sucedió al implantar la o las estrategias, e inicia nuevamente para repetirse recurrentemente. Este entendimiento del aprendizaje individual es crítico, aunque no es condición suficiente, si es necesaria para el aprendizaje organizacional, pues las organizaciones son el resultado de lo que piensan sus miembros y de las interacciones que llevan a cabo. Este modelo ha generado múltiples interpretaciones y es el modelo base del cual se pueden extraer conclusiones pertinentes sobre los obstáculos que emergen permanentemente.

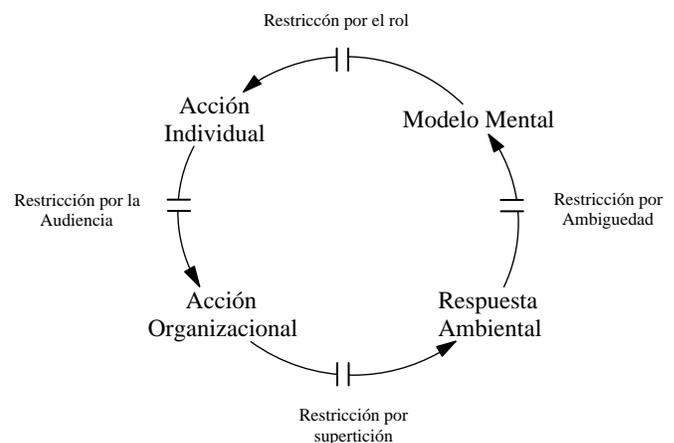


FIGURA 6: EL CICLO DE APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL Y SUS INTERRUPTIONES[24]

March y Olsen [25] conceptualizaron un ciclo de aprendizaje organizacional e identificaron barreras que pueden interrumpir el aprendizaje en diferentes puntos del ciclo. El ciclo completo está conformado por los siguientes cuatro estados, ilustrando la interacción del individuo, la organización y el medio ambiente. Explícitamente se incluye el rol del individuo en el proceso de aprendizaje organizacional.

Este ciclo describe cuatro posibles obstáculos: aquellos que inhiben la acción individual; aquellos que imposibilitan la acción organizacional; aquellos que impiden la observación de las consecuencias de

la acción organizacional en su entorno; y aquellos que impiden el cambio en los modelos mentales de los individuos.

El primer obstáculo o restricción, ejemplo en este trabajo, es el Aprendizaje Restringido por Rol. Esta interrupción ocurre cuando los individuos se inhiben, por ciertas condiciones organizacionales, especialmente por definiciones prevalecientes de roles o procedimientos de operación estándar, de adaptar su comportamiento a sus creencias.

Los miembros de la organización están convencidos que se debe incurrir en nuevas acciones porque las condiciones del ambiente cambiaron, pero no están en la capacidad de cambiar sus acciones. Su rol en la organización está fijo dentro de la estructura organizacional y no hay posibilidad para que actúen de la manera en que deberían. Por lo tanto, los procedimientos operativos estandarizados, normas organizacionales o presiones de grupo, privan este nuevo conocimiento o creencia, afectando la acción individual y entonces se impida una modificación en el comportamiento organizacional

Así mismo, este obstáculo inhibe lo que evidencia Argyris y Schön, en su distinción de aprendizaje de ciclo simple (*"single loop learning"*): *"los miembros de la organización responden a cambios en los entornos interno y externo de la organización mediante la detección de errores que entonces corrigen, para mantener los rasgos centrales de la teoría organizativa en uso"*.

Por lo tanto, el Aprendizaje Restringido por el Rol no permitirá que el aprendizaje individual prospere, a partir de la detección y corrección de errores, los cuales se ajustan debido a experiencias que no satisfacen las expectativas y porque no hay una acción individual. La persona y en general la organización no podrá poner a prueba este nuevo conocimiento y la detección de errores, entonces, estará inhibida por la acción individual.

En el modelo de Kim es claro que cuando emerge el obstáculo de Aprendizaje Restringido por el Rol: *"El aprendizaje conceptual se lleva a cabo, pero el aprendizaje operacional es inhibido. Esto sucede*

principalmente porque los individuos, no traducen su conocimiento en acción" [17]. Por lo tanto, el individuo es capaz de diseñar estrategias que respondan a la evaluación, pero son incapaces de implementar la estrategia y observar el impacto que tiene esta estrategia porque la acción individual no se lleva a cabo. Si el individuo es incapaz de cambiar sus acciones de acuerdo con lo observado o aprendido esto será una pérdida para la organización pues nunca se transformará en aprendizaje organizacional.

B. Obstáculos según el modelo EODI-MMC

Daniel Kim en su artículo "The Link between Individual and Organizational Learning", afirma que aunque March y Olsen, incluyeron a los actores individuales se quedaron cortos en describir las interacciones entre aprendizaje individual y aprendizaje en el nivel organizacional. El modelo solo tiene en cuenta, la respuesta individual. El modelo de Kim, OEDI-MMC (MMC: Modelos Mentales Compartidos), acoge todo lo expuesto por los anteriores autores; incluye el modelo OEDI, la distinción entre los niveles de aprendizaje y los obstáculos propuestos por March y Olsen.

La organización aprende cuando sus miembros coordinan sus acciones de una manera más efectiva por medio del uso de mapas y modelos compartidos. El aprendizaje organizacional requiere que el conocimiento pueda ser utilizado dentro de las prácticas de la empresa. Los saberes, por lo tanto, solo se convierten en conocimiento organizacional, cuando las prácticas se pueden aplicar de una forma regularizada y flexible, construyendo una organización inteligente. Son varias las causas generales que inducen obstáculo, en el camino de construcción de una organización orientada a la gestión del conocimiento [17]:

1. Existe una cultura, rol o departamento en la compañía que frustra a la gente por cualquier razón
2. El individuo no genera suficiente variedad para controlar los cambios en una situación, ya sea por baja motivación o por intereses opuestos.
3. La aplicación de nuevo conocimiento se puede restringir por reglas normativas existentes. Las reglas normativas se pueden ver como la base de los derechos y obligaciones específicas en una

situación. De los miembros de la organización se espera que desarrollen ciertos trabajos, sigan ciertos procedimientos y cumplan con ciertos estándares de calidad que restringen la legitimación de cambiar prácticas de trabajo con base en un nuevo conocimiento, obstaculizando tales cambios.

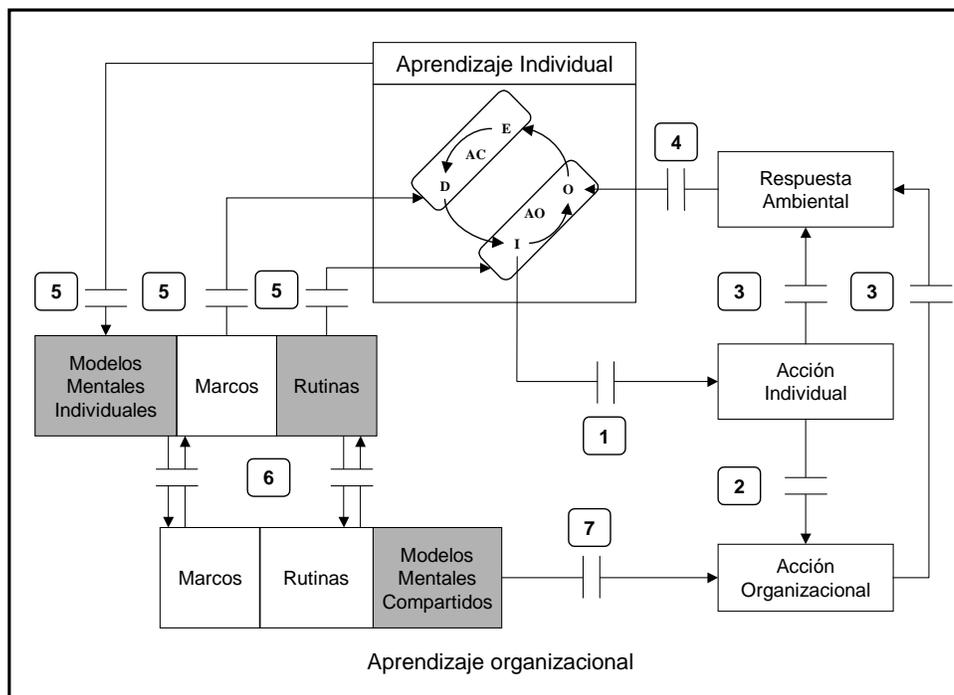
De acuerdo con el modelo de aprendizaje organizacional, OEDI-MMC, identifica siete tipos particulares de obstáculos que no permiten que el aprendizaje organizacional se lleve a cabo. En la figura 9, se muestran los ciclos de aprendizaje posibles y los distintos obstáculos para concretar el aprendizaje, a continuación se explica cada obstáculo asociado aun ejemplo típico, identificado mediante la aplicación del MME-EAN, en las distintas PyMEs estudiadas.

V. OBSTÁCULOS EVIDENCIADOS

Las demoras entre el modelo mental y el modelo de acción son resultado de obstáculos de aprendizaje de primer y segundo orden, veamos:

1. **Aprendizaje Restringido por el Rol:** En varias empresas estudiadas al gerente se le explico de manera detallada una practica de gestión necesaria para iniciar el cambio, lo comprendieron, incluso la aprendieron en el dominio conceptual porque fueron capaces de explicarlo a sus subalternos, sin embargo, no pudieron llevarlo al dominio operacional.
2. **Aprendizaje Restringido por la Audiencia:** El gerente por recomendación de la consultoría ha contratado un profesional para desempeñar un rol, el nuevo empleado aplica sus criterios, toma decisiones, se los transmite a sus colaboradores, pero la gerencia general y los empleados antiguos son resistentes, llegando a que las acciones individuales realizadas por el nuevo empleado se inhiban completamente.
3. **Aprendizaje Supersticioso:** Las practicas empíricas de muchos dueños de PyMEs, por ejemplo en mercadeo; estudios de la demanda o la competencia, en costos; sistemas para cálculos de precios finales, de materiales y de operación, no les permiten comprender los cambios en el entorno y anticiparse a ellos. Tampoco identifican los productos realmente rentables.

FIGURA 7: ADAPTADO DE: KIM, DANIEL H.; THE LINK BETWEEN INDIVIDUAL AND ORGANIZATIONAL LEARNING. MODELO OEDI- MMC.



4. **Aprendizaje Ambiguo:** Es un tipo de obstáculo que ocurre cuando existen fallas en la medición de la respuesta de las acciones, es decir la retroalimentación. Aunque el modelo utilizado para resolver el problema es el adecuado, el resultado del experimento no se mide apropiadamente, llevando a tomar conclusiones sobre datos errados. La gerencia de la PyME acostumbrada al día día, a los resultados inmediatos, contrata nuevo personal, la evaluación de desempeño antes de cumplir el periodo de prueba, es lamentable, los nuevos empleados son cambiados de puesto o despedidos, ya que sus resultados no fueron los esperados. El criterio con que el gerente los midió, nunca tuvo relación, con el que esperaba el nuevo empleado lo midieran.
5. **Aprendizaje Superficial:** Las devoluciones o las diferencias en inventario son muy comunes, se identifican las causas, se establecen nuevos procesos y por un periodo se les hace seguimiento o auditoria, pasado ese tiempo no se realizan más, apareciendo nuevamente los errores y empeorando la situación.
6. **Aprendizaje Fragmentado:** El caso de la implementación de la ISO 9001 es claro, la organización ha logrado montar el sistema de gestión de calidad, los individuos entienden la mecánica de las auditorias y el resultado por áreas es fructífero, sin embargo, en su conjunto no han apropiado la filosofía del sistema de calidad, presentado efectos negativos sobre los proveedores y clientes de la empresa.
7. **Aprendizaje Restringido por la Organización:** Por el afán de ser competitivos embarcan a las PyMEs en proyectos como la compra de sistemas de información (ERP's, tiendas virtuales, etc.), que no surten efectos positivos en la empresa y que no aumentan la competitividad, a pesar que presenten aumentos de eficiencia. Es una oportunidad imaginaria.

Resta completar el modelo y hacer las simulaciones que permitan identificar las estrategias que aceleren los procesos de aprendizaje, es decir, la capacidad de los empresarios de convertir su

modelo mental en acción con el apoyo de un consultor y una metodología de intervención eficiente.[26].

VI. CONCLUSIONES

Los gerentes de pequeñas y medianas empresas latinoamericanas, tienen en general un perfil empresarial consolidado a puro pulso, lo cual hace que emerjan, similares conductas administrativas y gerenciales, que en el desarrollo y crecimiento de la organización lo ponen a prueba y lo colocan en una disyuntiva, cambiar para administrar la complejidad y la dinámica de la organización crecida o mantener los viejos esquemas.

Durante el trabajo de cambio de una organización se evidencia una serie de retardos, a veces inexplicables, que con un inspección profunda es posible explicarlos bajo la teoría del aprendizaje organizacional, incluso es posible identificar los arquetipos y comportamientos dinámicos de los actores forjando obstáculos que inhiben el cambio organizacional.

El aprendizaje individual y organizacional constituye una dualidad, así como la estructura y la conducta, en ese sentido son dos caras de una moneda, es decir, que en la medida que forjemos aprendizaje individual en una organización que esté preparada para acogerlo, podemos tener un aprendizaje organizacional, pero para preparar la organización se requiere el aprendizaje individual. Es la dualidad sintetizar e integrar, reducir y ver el todo.

Con este trabajo se contribuye a la construcción de esquemas exitosos para el desarrollo, intervención y transformación organizacional.

RECONOCIMIENTO

Agradezco especialmente el apoyo de mi esposa Luisa Fernanda Rodríguez por sus aportes técnicos en dinámica de sistemas, sin el cual no hubiera sido posible concluir este escrito. A la Escuela de Administración de Negocios y al G-PyMEs, por la confianza depositada en mi trabajo de investigación. A la Universidad Autónoma de Colombia el apoyo

para culminar mis estudios de maestría. Y a mi director de tesis Alfonso Reyes de la Universidad de los Andes, por los comentarios y orientación en estos temas.

REFERENCIAS

- [1] TYSON, Sahún y JACKSON, Tony (1997). La Esencia del Comportamiento Organizacional. Editorial Prentice Hall. pp. 183.
- [2] NIETO, Mauricio y VELÁSQUEZ, Andrés (2004). Grupo PyMEs-EAN. Modelo de Modernización Empresarial para PyMES. Escuela de Administración de Negocios, Centro de Investigaciones. Bogotá, D. C., 2004. pp. 13.
- [3] ETKIN, Jorge y SCHVARSTEIN, Leonardo. (2000) Identidad de las organizaciones. Invarianza y cambio. Paidós, 5° reimpresión. Argentina., Prologo de Stafford Beer.
- [4] REYES, Alfonso, (2005). Material digital del Curso: Aprendizaje Organizacional. Maestría en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Colombia.
- [5] Ídem.
- [6] WHITMORE, John. (2003). Coaching. Editorial Paidós, España. pp. 141.
- [7] TYSON, Sahún y JACKSON, Tony (1997). Op. Cit.. pp. 180.
- [8] ANDRADE, Sosa, Hugo, DYNER, Isaac y Otros, (2001). Pensamiento Sistemático: Diversidad en búsqueda de Unidad. Ediciones Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. pp. 269.
- [9] Ídem. pp. 271.
- [10] SENGE, Peter & others, (2000). La Danza del Cambio. Editorial Norma. Colombia. pp. 271.
- [11] WATZLAWICK, Paul, John H. Weakland y Richard Fisco, (1974). Cambio. Editorial Herder, Barcelona, España, 1974.
- [12] ARGYRIS, Chris (1999). Sobre el aprendizaje organizacional. Segunda Edición. Oxford, México. pp. 226.
- [13] FOERSTER, Heinz von. (1996). Las semillas de la cibernética. Editorial Gedisa. España.
- [14] STERMAN, John D., (2000). Business Dynamics. McGraw-Hill. USA. pp. 19.
- [15] Adaptado de Senge & otros (2000). pp 48. [10].
- [16] MORECROFT, John & STERMAN, John, (1994). Modeling for Learning Organizations. Productivity Press. United States of America. pp. 94.
- [17] ESPEJO Raul, SCHUHMANN Werner & others. (1996). Organizational Transformation and Learning. John Wiley. England.
- [18] Es una herramienta de intervención, talleres o juegos, en la que los directivos y empleados enfrentan situaciones difíciles que son familiares en la rutina, (Andrade, Dyner & otros, 2001: 271)[8].
- [19] Esta sección y la siguiente se preparo con base en el material de clase del curso de la maestría en ingeniería industrial, Diagnóstico Organizacional, dirigido por el Dr. Alfonso Reyes en la Universidad de los Andes, el ensayo Aprendizaje Restringido por Rol elaborado por Andrés Velásquez, Joaquín Romero, Silvia Padilla y Vivian Landazábal, estudiantes de la maestría, y en el trabajo desarrollado por el Grupo de Investigación G-PyMEs de la EAN, reconocido clase A por COLCIENCIAS.
- [20] VARGAS, José G. (2004). Proceso de transformación estratégica y evolución de las organizaciones. Revista EAN, No. 52, Bogotá, Septiembre - Diciembre. pp. 14 – 27.
- [21] ZARAMA, R. and REYES, A. (1998) The Process of Embodying Distinctions: A Reconstruction of the Process of Learning. In Cybernetics and Human Knowing: A Journal of Second Order Cybernetics, Cyber-Semiotics and Autopoiesis, Vol. 5, No. 3, Oct. 1998.
- [22] En el caso de las pequeñas y medianas empresas colombianas el estilo gerencial y la falta de calificación en la mano de obra, propician en los individuos comportamientos en el rol que desempeñan, comparables a lo que llamamos en este texto aprendizaje restringido por el rol. Ver por ejemplo: PEREZ, Rafael. Gerencia de la Mipymes en Santafé de Bogotá, Escuela de Administración de Negocios, Centro de Investigaciones, 1999. WEISS Anita y CASTAÑEDA Wigberto. Estrategias Empresariales y Diferenciación Obrera. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Sociología. Bogotá, 1992. OGLIASTRI, Enrique. Manual de planeación estratégica. Tercera Edición, Tercer Mundo Ed. Colombia. 1999 y Revista EAN No. 47 Enero-Abril de 2003.
- [23] KIM, Daniel H. (1993). The Link between Individual and Organizational Learning. Sloan Management Review. Fall 1993, Volume 35, Number 1. 37-50.
- [24] Fuente: March y Olsen, citado en Kim, (1993:42). Este diagrama fue adaptado.
- [25] MARCH, J.G. and OLSEN, J.P. (1975) 'The uncertainty of the past: Organizational learning under ambiguity', European Journal of Political Research 3: 147-171.
- [26] Para consultar otros detalles ver: VELÁSQUEZ, Andrés T. (2005). Análisis Situacional, Intervención y Aprendizaje Organizacional. Revista EAN, Escuela de Administración de Negocios., No. 53 Enero – Abril, Bogotá, Colombia. pp. 52-71.

Autor

Andrés T. Velásquez Contreras. Ingeniero Industrial. Universidad Distrital. Especialista: En Logística de Producción y Distribución. Fundación Universitaria del Área Andina. Candidato a magíster en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Profesor investigador, Escuela de Administración de Negocios y Universidad Autónoma de Colombia. Gerente de logística de Comestibles Rico Ltda., Jefe Administrativo BonBril. Algo más de 10 artículos publicados sobre gerencia de operaciones y logística. Consultor y asesor del sector privado y Fuerzas Militares.

Aprendizaje y cooperación

Jaén, Sebastián y Montoya, Santiago.
{jsjaenp, smontoya}@unalmed.edu.co
Universidad Nacional de Colombia

Resumen—El presente trabajo hace un breve recuento de lo que son los dilemas sociales, los problemas que involucran y las estrategias empleadas para tratar de resolverlos. De esta forma se plantea una situación simulada de un dilema social para estudiar de manera “controlada” los factores que podrían inducir un estado cooperativo a partir de un estado de total competencia.

Índice de Términos— Dilema social, cooperación, juego en red, simulación, Dinámica de sistemas.

I. INTRODUCCIÓN

Los dilemas sociales son situaciones en las cuales la racionalidad individual conduce a la irracionalidad colectiva (Kollock, 1998). Muchas de estas situaciones han sido tipificadas alrededor de tres metáforas, las cuales han asumido míticas proporciones por el uso y abuso que los intelectuales han hecho de ellas. Estas metáforas son: el dilema del prisionero, el problema del suministro de los bienes públicos y la tragedia de los comunes.

El dilema del prisionero involucra la historia de dos prisioneros los cuales separadamente deben elegir entre testificar contra el otro o guardar silencio (Luce y Raifa, 1957). De acuerdo con los posibles pares de decisiones cada jugador puede obtener un nivel dado de beneficio. Si ambos prisioneros guardan silencio (cooperan), ambos saldrán beneficiados, pero si por algún motivo uno de los prisioneros delata al otro mientras que su compañero no lo ha hecho, el delator gozará de todos los beneficios y el delatado de todos los perjuicios. Si ambos jugadores se delatan ambos se verán afectados. Este juego está marcado por una estrategia dominante de delación, porque cada prisionero está esperando lo peor de su contraparte

y porque el mejor resultado se obtiene cuando un prisionero delata a otro que no lo hace.

El problema de los bienes públicos se deriva del hecho de que estos pueden ser disfrutados independientemente de que la persona que hace usufructo de ellos haya ayudado en su elaboración o producción. De esta forma una persona se puede ver tentada a disfrutar de este tipo de bienes de una manera desproporcionada sin cooperar en su creación o mantenimiento. Tal comportamiento podría radicar en el simple deseo de obtener el mejor resultado para sí mismo, o por el temor de proveer bienes a otras personas que no ayudarían eventualmente a proveerlos también. Este tipo de dilema social según Kollock (1998) fue descrito tempranamente por Hume en 1739, articulado por Samuelson en 1954 y hecho famoso por Olson en 1965 con la publicación de *La lógica de la acción colectiva*.

Finalmente la tragedia de los comunes es uno de los más famosos dilemas sociales, del cual se pueden encontrar referencias tempranas aun en Aristóteles (Política, Libro II, Capítulo 3). Referencias más modernas pueden ser consultadas en Lloyd (1832) y en Hardin (1968), el cual describe el dilema como una situación común a un grupo de pastores los cuales tienen acceso a un sitio libre. El interés de cada pastor es traer tanta cantidad de rebaño como sea posible para beneficiarse del beneficio marginal de traer una nueva oveja. Sin embargo, el fruto de cada acción de beneficio individual ocasionará un agotamiento del recurso pasto, que deriva en un problema colectivo de ausencia de recursos.

Si bien existe suficiente literatura para evidenciar la naturaleza y las características de los dilemas sociales, existen también estudios de cómo resolverlos. Según Kollock (1998) se consideran tres categorías de soluciones: las soluciones de tipo

motivacional, en las cuales se asume que los actores no son completamente egoístas y dan algún valor al resultado de su competencia. Para encontrar soluciones dentro de la posición motivacional se han considerado con relativo éxito estrategias como el fortalecimiento de la comunicación entre los integrantes del dilema y la formación de una identidad grupal.

Las soluciones de tipo estratégico asumen el egoísmo de los actores sin considerar los cambios en la estructura de la situación. Estas soluciones plantean que sólo podría haber cooperación si los integrantes del dilema se persuaden que a la par de su cooperación está la de su contraparte. En síntesis, si se da la condición de reciprocidad es factible que se de la cooperación.

Las soluciones de tipo estructural le apuntan a cambiar la estructura o reglas de juego con miras a resolver el dilema. Se ha estudiado que el aumento en las iteraciones de las transacciones que definen el dilema y la identificación mutua de los miembros del dilema pueden ayudar a resolverlo, es decir a llegar a situaciones de cooperación (Axelrod, 1984).

Además de lo anterior, la estructura de pagos juega un rol importante en la solución del dilema si los ingresos por cooperar son superiores a los ingresos por no hacerlo (Isaac y Walker, 1988). De igual forma, si los miembros del dilema tienen una percepción directa del impacto de su no contribución habrá más posibilidades de que la cooperación pueda surgir (Kerr, 1989).

El tamaño del grupo también es un factor preponderante. Numerosos estudios han mostrado que la cooperación declina cuando este aumenta en número de integrantes (Komorita y Lapworth, 1982; Fox y Guyer, 1977; Bonacich et al 1976).

Dados estos antecedentes es pertinente estudiar el diseño de situaciones donde tanto la competencia como la cooperación puedan surgir, y de esta forma analizar que condiciones diferentes o similares a las anteriormente mencionadas podrían darse.

II. LA SIMULACIÓN Y LOS DILEMAS SOCIALES

Los dilemas sociales emergen de la naturaleza compleja de las relaciones humanas. Los investigadores que se aproximan a tal fenómeno han tratado de buscar herramientas o metodologías que permitan facilitar esta aproximación, evitándose las complicaciones adicionales que tiene el interactuar con un ente social.

De esta forma, los computadores y el modelamiento de los sistemas sociales han ganado relevancia en el estudio de los dilemas sociales. Los modelos simplifican y permiten controlar la realidad, además de minimizar los costos de experimentación considerablemente.

Los ejemplos exitosos del modelamiento y la simulación computacional de dilemas sociales, tienen su origen en el trabajo de Axelrod (1984) a pesar de existir numerosas aproximaciones anteriores. En el *Dilema del prisionero para dos jugadores*, Axelrod sorprende por la metodología de su trabajo, las conclusiones generadas a partir de las simulaciones, y por un variado conjunto de conclusiones y ejemplos aplicables a las más variadas temáticas aplicables a temas tan disímiles como la biología y la guerra de trincheras.

Uno de los supuestos usados por Axelrod consistía en la regla estricta de que cada jugador únicamente podía interactuar con su entorno. Simulaciones con estrategias de elección o rechazo de los jugadores adyacentes plantearon los más recientes desarrollos en la solución y las opciones a este tipo de dilema. Entre estos hallazgos se pueden citar los trabajos de Schuessler (1989), Vanberg y Congleton (1992), y Hayashi (1993) y Hayashi et al. (1994), los cuales en todas sus conclusiones emplearon modelos computacionales que replicaban la estructura y el comportamiento básico de las entidades sociales.

Otros autores como Moxnes (1998) y Castillo y Kerem (2005), exploran otra perspectiva de trabajo de los dilemas sociales, aplicados al manejo del medio ambiente y los recursos naturales. Si bien sus trabajos no son una indagación sobre la naturaleza

del dilema social en sí, exploran el hecho de que dado un dilema perceptible en el manejo de determinados recursos, se determinen estrategias y políticas para encontrar su solución.

De esta forma, se puede concluir que el uso de modelos computacionales para el estudio de dilemas sociales ha sido una estrategia ampliamente utilizada de la cual se han obtenido resultados que permiten definir conclusiones relevantes.

III. APRENDIZAJE COMO MECANISMO DE COOPERACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A. Comportamiento observado en el desarrollo del dilema social.

La estructura de la explotación de un recurso puede ser representada a partir del diagrama causal de la figura 1. Allí se presentan dos ciclos de refuerzo en los cuales se plantea la regeneración del recurso renovable, y el aumento de la capacidad de explotación a partir de las utilidades.

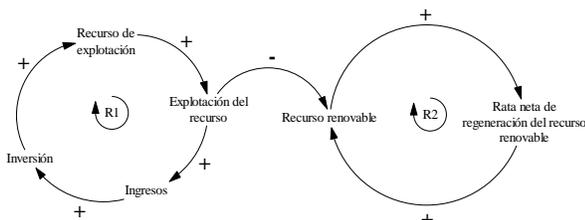


Fig. 1: Estructura de explotación de un recurso renovable.

Cuando el recurso renovable plantea una tasa neta de regeneración mayor que la tasa de explotación, el comportamiento de los agentes (explotadores del recurso) puede relacionarse con el de la figura 1. Sin embargo, en condiciones de mercado, la explotación del recurso plantea una disminución de precio, la cual a su vez genera un efecto de balance a la entrada o permanencia de agentes, repercutiendo finalmente en el estado del recurso renovable (figura 2).

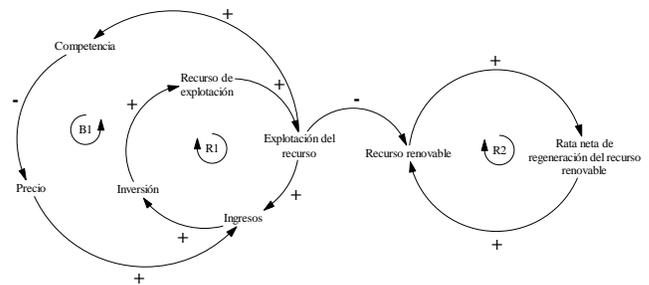


Fig. 2: Efecto del precio en el comportamiento.

Pese a que el precio es un elemento que puede contribuir al equilibrio del sistema (igual tasa promedio de explotación y de regeneración del recurso), el comportamiento más apreciado en este tipo de sistemas es el del agotamiento del recurso renovable como lo presenta la figura 3.

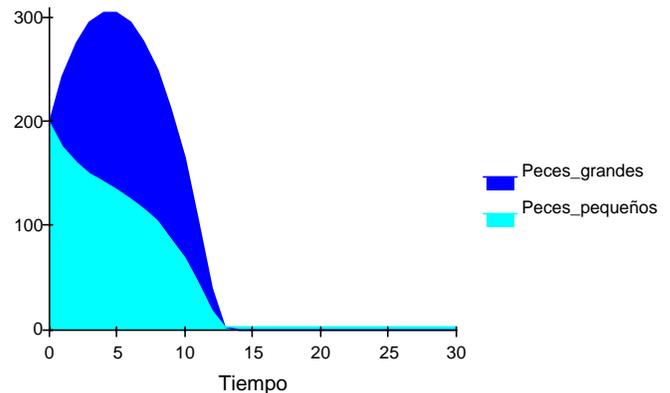


Fig. 3: Agotamiento del recurso renovable por exceso en la explotación.

Una estrategia que podría servir para evitar la explotación indiscriminada del recurso renovable se plantearía en términos del monitoreo de la cantidad de recurso existente, tal y como lo presenta la figura 4, en la cual la cantidad de recurso renovable tiene incidencia en la inversión.

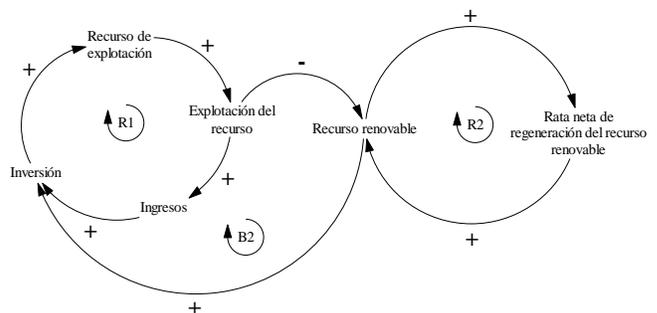


Fig. 4. Monitoreo de la cantidad de recurso renovable y su efecto sobre la explotación.

De esta forma surgiría el ciclo de balance B2 el cual ayudaría a que los agentes moderaran la explotación del recurso y al mismo tiempo perpetuaran su actividad.

Una representación gráfica de un estado deseable que podrían aportar tanto B1 como B2, en el sistema, podría estar representado por la fig. 5. Allí el sistema llega a un punto en que la tasa de explotación es prácticamente igual a la tasa de regeneración del recurso.

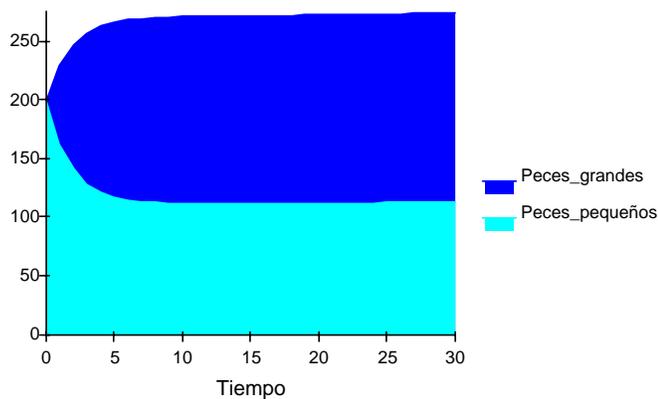


Fig. 5: Efecto deseado en el comportamiento del recurso renovable.

B. Búsqueda de la estrategia para resolver el dilema social.

En la práctica, a pesar de estar presentes B1 y B2, la mayoría de las veces el comportamiento que sufre la variable recurso renovable obedece como al de la fig. 3, y esto se debe principalmente a dos razones fundamentales:

Los agentes no tienen la capacidad de interpretar el efecto que tiene la pesca indiscriminada en el precio del consumo. Y si sí la tienen prefieren recibir algún beneficio en vez de no recibir ninguno.

Los agentes no cuentan con la información exacta sobre la cantidad existente del recurso por la imposibilidad de su cuantificación o el costo de hacerlo.

Por estas razones se haría necesario buscar algún tipo de cooperación que permitiera generar B3 tal y como lo representa la fig. 6.

A partir del juego en red y la simulación de una situación de dilema social en un entorno controlado, se buscó cuál o cuáles son los elementos que podrían a partir de la competencia, generar cooperación buscando un nivel deseado en los recursos renovables y en la actividad de explotación.

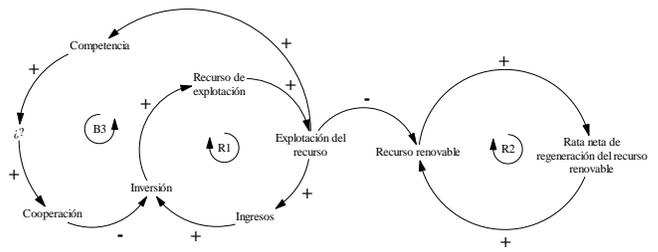


Fig. 6. Nuevo balance generado a partir de la cooperación.

IV. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Para la representación del dilema, el modelo recrea un área marítima sujeta a la explotación pesquera por parte de diversas compañías. Si bien es un área marítima, se asume que el área está delimitada y que en dicha área es el hábitat de una especie particular de peces. Por fuera de dicha área no están dadas las condiciones para la reproducción de los mismos, y también se dificulta la actividad de pesca (fuertes vientos y corrientes que dificultan la entrada de los barcos pesqueros o que lo permiten asumiendo riesgos extremos que no se compensan con lo que puede ser extraído).

Las compañías de pesca inician con un número determinado de barcos los cuales son enviados en su totalidad a explotar el área pesquera. Se puede decidir aumentar o disminuir la cantidad de barcos disponibles, bajo la suposición de que no se incurre en ningún costo al hacerlo¹. Se incurre en un costo

¹ La suposición en principio parece bastante alejada de la situación real pero dada la hipótesis de trabajo puede observarse que su consideración sólo implicaría más ruido y que finalmente no lograría afectar considerablemente los resultados que se esperan.

fijo por tener barcos y se ignoran los costos variables derivados de la operación de los mismos.

Cada barco posee la capacidad de explotar hasta una tonelada diaria de pescado. En condiciones favorables de disponibilidad del recurso, se asume que se tiene un ciento por ciento de éxito. Sin embargo, cuando se pesca se extraen tanto peces maduros como peces jóvenes, lo cual afecta el sostenimiento de largo plazo de la especie. Adicionalmente, los peces jóvenes tardan un tiempo en llegar a la madurez. La probabilidad de extraer peses adultos está dada por la relación peses adultos / (peses jóvenes + peses adultos), y se asume un período de 4 días en alcanzar la madurez.

Con el objetivo de utilizar la herramienta como medio de aprendizaje, no se hacen suposiciones sobre la racionalidad del decisor; en lugar de esto, el modelo pone a la persona a cargo de la decisión de cantidad de barcos, interactuando dinámicamente con el mismo durante cada paso de simulación.

Con los anteriores elementos, se construyó un juego en red el cual busca facilitar la interacción entre los jugadores y les permite competir o cooperar por un recurso escaso. La competencia en el modelo se introduce permitiendo a varias personas tomar decisiones independientes en forma paralela. Cada persona está a cargo de una de las 4 compañías pesqueras. El número total de barcos en actividad determina la cantidad de recurso que se extrae del área de pesca. Existe un nivel inicial de recurso disponible para la pesca, el cual disminuye en función de la intensidad de la actividad pesquera de cada compañía (toneladas diarias extraídas). Debe tenerse en cuenta que el modelo presenta una dimensionalidad igual al número de jugadores, por lo que la interacción entre ellos ocurre de manera agregada en algunas de las variables.

El precio se fija de acuerdo a un mecanismo de mercado, a partir de la relación entre el número de peces grandes pescados y la demanda tal y como lo ilustra la figura 7 (ver el modelo anexo).

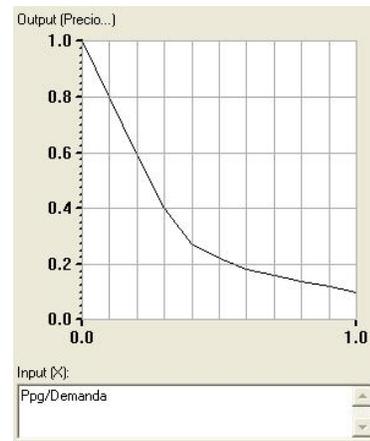


Fig. 7. Función del precio a partir de la satisfacción de la demanda.

Luego, la complejidad resultante en el comportamiento del sistema ocurre mediante la interacción entre las decisiones individuales de forma repetida de los demás jugadores. Cada compañía i obtiene utilidades derivadas de la función de beneficio $U(t) = P(t) \cdot Q_i(t) - C \cdot F$, donde F es el número de barcos que conforman la flota y C es un valor de costo el cual permanece fijo para toda la simulación y es conocido por cada jugador.

Adicionalmente se en el juego se ensayará un entorno en el cual se de una sanción por consumo de pesca. Si en el último período se detecta que los jugadores han consumido la mayor cantidad de peces, el sistema impondrá una sanción a cada jugador proporcional a la cantidad de barcos que haya incorporado en el sistema por encima de un tope establecido por las autoridades.

En total, se establecen cuatro equipos cada uno de 4 o 5 jugadores los cuales compiten entre sí sin tener contacto con los otros. A los equipos se les suministran las mismas instrucciones y de acuerdo a ellas se analizan los resultados finales del juego.

Se dispuso de una sala de sistemas con 20 equipos de cómputo en red. Se utilizó la capacidad de generación de interacción en red del software Powersim© Constructor para la implementación de la aplicación.

V. LA POSIBILIDAD DEL APRENDIZAJE Y LA COOPERACIÓN

Los resultados arrojados por el juego en red plantea un escenario común: este es el de la competencia indiscriminada hasta el agotamiento del recurso. De seis equipos, 5 optaron por esta forma de jugar en la cual la situación más generalizada podría ser representada por las figuras 8, 9 y 10.

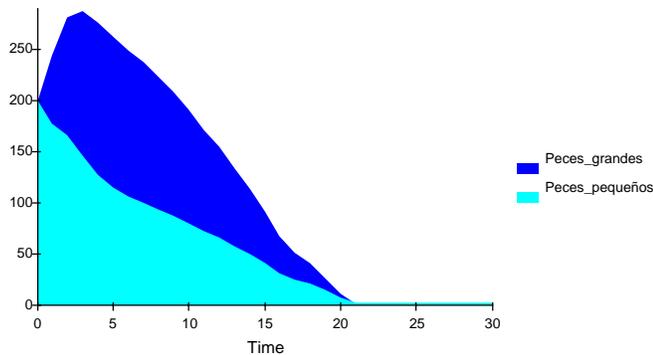


Fig. 8. Explotación del recurso peses.

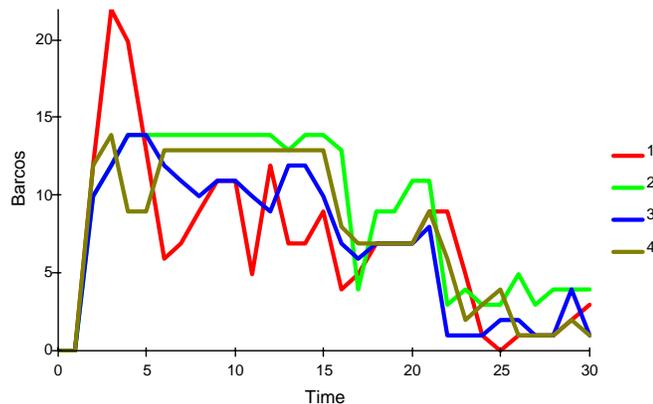


Fig. 9. Estrategia de los jugadores.

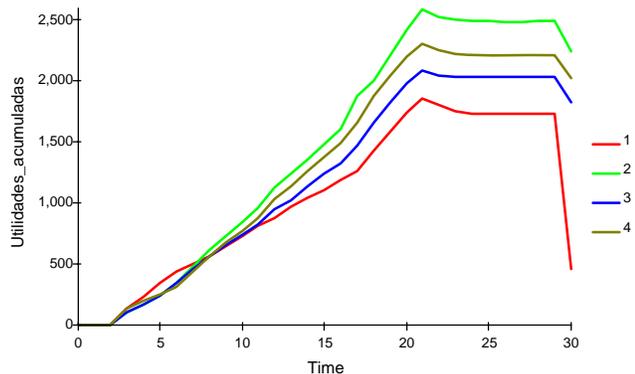


Fig. 10. Resultado de las utilidades.

En la fig. 8, se aprecia como el recurso es consumido totalmente. La figura 9 ilustra las estrategias empleadas por los jugadores, la más común, la de la explotación del recurso mientras la relación entre los costos de tener los barcos y los beneficios de la venta de peces sea menor que 1. Cuando se da la percepción de que los peces se han agotado, los jugadores moderan la tasa de explotación, realizando esporádicos aumentos de ella en búsqueda de una oportunidad de ganancia.

La fig. 10 expone el aumento en las utilidades como consecuencia de la explotación del recurso. Se aprecia como las estrategias más agresivas y volátiles (jugadores 1 y 3) suelen percibir utilidades a una tasa menor que las estrategias conservadoras (jugadores 2 y 4). Después del agotamiento de los peces, las utilidades de los 4 jugadores se ven afectadas por lo cual las decisiones se ven encaminadas a la disminución del recurso de explotación.

La hipótesis dinámica que explica este comportamiento podría asociarse a la estructura planteada por el sobrepaso y el colapso representada por la figura 11.

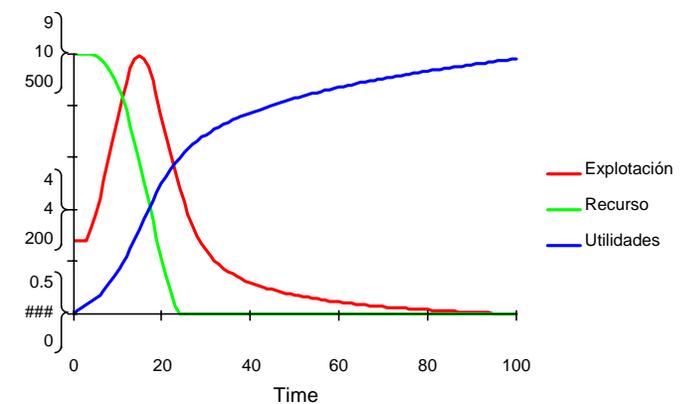


Fig. 11. Sobrepaso y colapso.

Una variación de la anterior situación es la de cierto aprendizaje cuando todos los jugadores pierden las utilidades. Por ejemplo, los jugadores del equipo 3, sufren del menoscabo en sus utilidades tal y como lo representa la figura 12, por el abuso en la explotación.

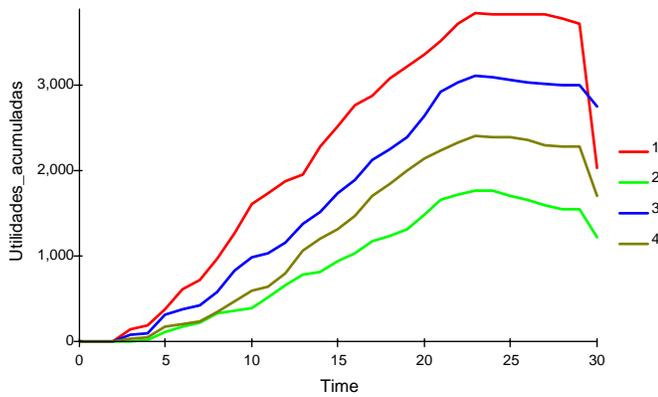


Fig. 12. Menoscabo en las utilidades por sobreexplotación.

En el siguiente juego, las decisiones fueron más conservadoras aunque siempre está presente el dilema social de que algunos jugadores temen cooperar por temor a donar su sacrificio a otro jugador que no lo ha hecho. En la figura 13 se aprecia como los jugadores 2, 3 y 4 plantean estrategias de explotación más conservadoras, de alguna forma han ganado un aprendizaje que les invita a optar por esta posición. Sin embargo, el jugador 1 persiste en su estrategia de sobreexplotación aprovechando el sacrificio de los otros jugadores en su beneficio.

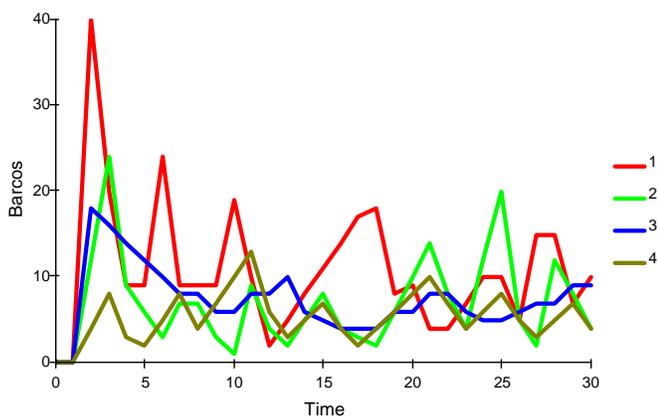


Fig. 13. Estrategias conservadoras y efecto de donación.

En la fig. 14 se puede apreciar como la cooperación de los jugadores 2, 3 y 4, va en beneficio del jugador 1 no cooperante. Esta situación planteará que para el próximo juego, todos los competidores asuman posiciones competitivas.

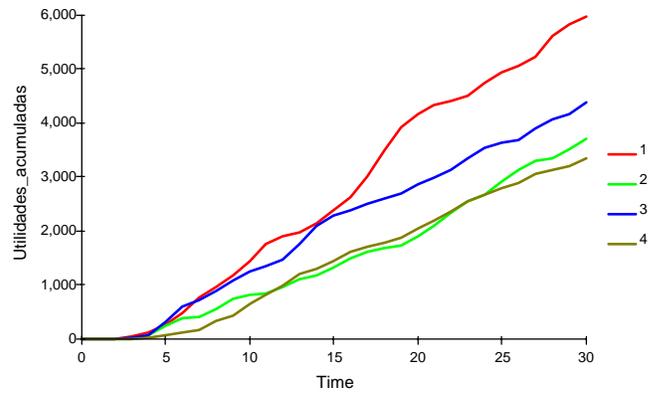


Fig. 14. Efecto de donación de los cooperantes.

La estructura de esta situación podría ser representada por la fig. 14, en la cual, la competencia podría incurrir en una probabilidad de pérdida lo que induciría a la cooperación. Adicionalmente la probabilidad de pérdida generaría pérdidas que repercuten en la inversión, generándose un nuevo ciclo de balance (B4).

Sin embargo, también se ha podido apreciar que esta situación de cooperación es vulnerable a la ambición individual de los jugadores, lo que determina que excepcionalmente es sostenible en el mediano y largo plazo. Cuando los jugadores deciden cooperar, alguno o algunos de ellos podrían aprovecharse del pacto para apropiarse de lo que los cooperantes dejan de explotar. Una vez sucedido esto se perturba el pacto de tal forma que nuevamente los jugadores caen en una situación de explotación y competencia indiscriminada representada en la figura 15, en la cual aparece un nuevo ciclo de refuerzo (R2).

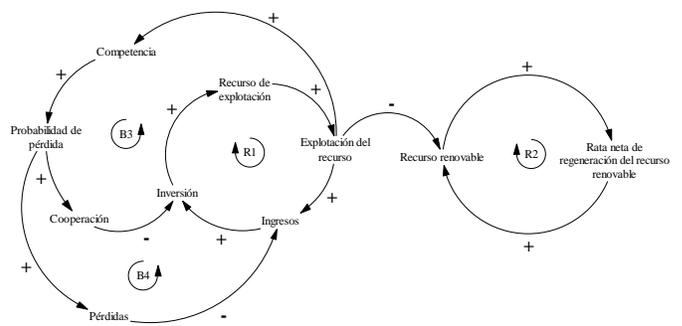


Fig. 14. Generación de cooperación a partir de la probabilidad de pérdida.

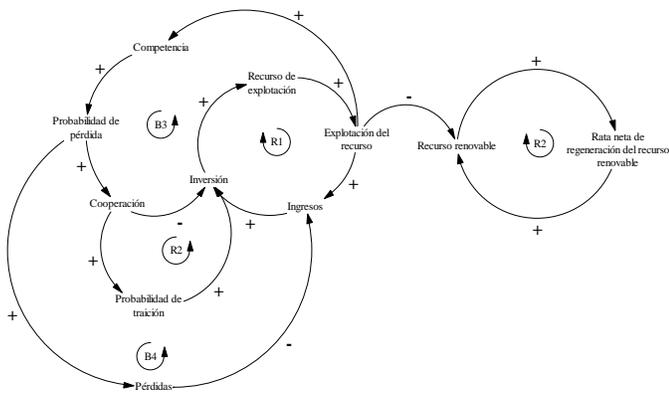


Fig. 15. Beneficio a costa de los cooperantes.

VI. CONCLUSIONES

A. Uso de modelos computacionales para el entendimiento de los dilemas sociales

Al igual que las investigaciones referenciadas, en este trabajo se pudo validar la utilidad del uso de los modelos computacionales para el entendimiento de dichos fenómenos sociales. Las posibilidades que ofrecen este tipo de herramientas facilitan el planteamiento de tantas situaciones controlables como lo desee el investigador.

B. Uso de la Dinámica de sistemas como herramienta pertinente a este estudio.

La Dinámica de sistemas ofrece un lenguaje que permite la representación de la estructura del sistema más propia al comportamiento de los entes sociales cuando sus conductas son variables en el tiempo.

La simulación de dilemas sociales bajo situaciones de juegos computacionales controlados permite capturar la dinámica y las realimentaciones de los jugadores de una manera mucho más apropiada y expedita.

C. Aprendizaje y cooperación.

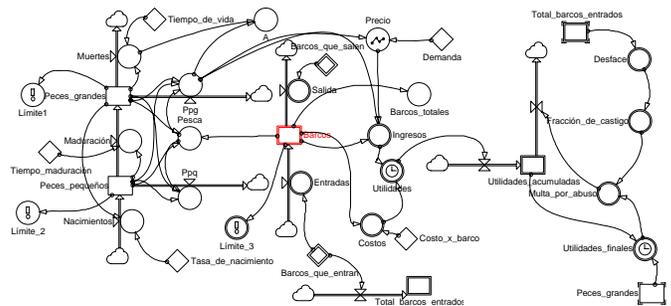
En el trabajo se mostró como la cooperación puede darse a partir de una situación generalizada de pérdida. Cuanto de manera más uniforme se representen las pérdidas, habrá más opciones para que se de la cooperación.

Se mostró además que el estado de cooperación es vulnerable a la ambición individual de los jugadores, y que un estado de cooperación es destruido por la violación de estos pactos.

Es una ley que siempre las mejoras sociales provengan de situaciones de pérdida generalizada.

APÉNDICES

A. Modelo



B. Ecuaciones del modelo

- dim Barcos = (4)
- init Barcos = 0
- flow Barcos = $-dt * Salida + dt * Entradas$

- init Peces_grandes = 200
- flow Peces_grandes = $-dt * Ppg - dt * Muertes + dt * Maduración$
- init Peces_pequeños = 200
- flow Peces_pequeños = $-dt * Ppq + dt * Nacimientos - dt * Maduración$

- dim Total_barcos_entrados = (4)
- init Total_barcos_entrados = 0
- flow Total_barcos_entrados = $+dt * Barcos_que_entran$

- dim Utilidades_acumuladas = (4)
- init Utilidades_acumuladas = 0
- flow Utilidades_acumuladas = $dt * Multa_por_abuso$

```

+dt*Utilidades

dim Entradas = (4)
aux Entradas = Barcos_que_entran
aux Maduración
Peces_pequeños/Tiempo_maduración
aux Muertes = Peces_grandes/Tiempo_de_vida
dim Multa_por_abuso = (4)
aux Multa_por_abuso =
Fracción_de_castigo*ABS(Utilidades_finales)

aux Nacimientos =
Peces_grandes*Tasa_de_nacimiento + 4
aux Ppg =
Pesca*Peces_grandes/(Peces_grandes+Peces_pequeños)
aux Ppq =
Pesca*Peces_pequeños/(Peces_grandes+Peces_pequeños)

dim Salida = (4)
aux Salida = Barcos_que_salen

dim Utilidades = (Players)
aux Utilidades = IF(TIME=0,0,Ingresos-Costos)
aux A = Muertes+Ppg
aux Barcos_totales = ARRSUM(Barcos)

dim Costos = (4)
aux Costos = Barcos*Costo_x_barco
dim Desface = (i=1..4)
aux Desface
IF(Total_barcos_entrados(INDEX(i))-7.25>0,
Total_barcos_entrados(INDEX(i))-7.25,0)

doc Desface = El desface se considera como la
distancia del número máximo de barcos para cada
competidor y el valor del equilibrio. En este caso 8
barcos. Quienes superen este valor comenzaran a
percibir sanción.

dim Fracción_de_castigo = (i=1..4)
aux Fracción_de_castigo =
IF(ARRSUM(Desface) <>
0,Desface(INDEX(i))/ARRSUM(Desface),0)

dim Ingresos = (Players)

```

```

aux Ingresos =
IF(ARRSUM(Barcos)<=0,0,(Ppg*Precio/ARRSUM
(Barcos))*Barcos)
aux Límite_2 = LIMIT(Peces_pequeños, 0,
10000000000)

dim Límite_3 = (i=1..4)
aux Límite_3 = LIMIT(Barcos(INDEX(i)), 0,
10000000000)
aux Límite1 = LIMIT(Peces_grandes,
0,10000000000)
aux Pesca =
IF(Peces_grandes+Peces_pequeños>ARRSUM(Barcos),ARRSUM(Barcos),Peces_grandes+Peces_pequeños)
aux Precio =
GRAPH(Ppg/Demanda,0,0.1,[1,0.8,0.59,0.4,0.27,0.22,0.18,0.16,0.14,0.12,0.1"Min:0;Max:1;Zoom"])*100

dim Utilidades_finales = (i=1..4)
aux Utilidades_finales = IF( TIME = 29 AND
Peces_grandes <100
,Utilidades_acumuladas(INDEX(i)),0)

dim Barcos_que_entran = (Players)
const Barcos_que_entran = 0

dim Barcos_que_salen = (Players)
const Barcos_que_salen = 0
const Costo_x_barco = 10
const Demanda = 80
const Tasa_de_nacimiento = 0.12
const Tiempo_de_vida = 36
const Tiempo_maduración = 4

```

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar sus agradecimientos a los estudiantes del curso de Dinámica de sistemas de la Universidad Nacional de Colombia, los cuales se prestaron incondicionalmente a los fines y propósitos de este trabajo.

Se agradece también a la Universidad Nacional de Colombia el apoyo logístico para la realización de

este trabajo, y a la colaboración y asesoría de Santiago Arango Aramburo.

REFERENCIAS

- [1] R. Axelrod. *"The Evolution of Cooperation"*. New York: Basic Books. 1984
- [2] P. Bonacich, G. Shure, J. Kahan, R. Meeker. Cooperation and group size in the n-person prisonerís dilemma. *J. Conflict Resolution* 20:687-706. 1976.
- [3] D. Castillo y A. Kerem Saisel, *Simulation of common pool resource field experiments: a behavioral model of collective action*. Ecological Economics (2005)
- [4] G. Hardin, *The tragedy of the commons*. Science 162: 1243-48. 1968.
- [5] D. Hume [1739] *A Treatise of Human Nature*. Oxford, UK: Oxford Univ. Press. 1976.
- [6] R. M. Isaac and J. Walker, Group size effects in public goods provision: the voluntary contribution mechanism. *Q. J. Econ.* 103:179-99. 1988.
- [7] N. Kerr, Illusions of efficacy: the effects of group size on perceived efficacy in social dilemmas. *J. Exp. Soc. Psychol.* 25: 287-313. 1989.
- [8] S. S. Komorita and C. W. Lapworth, Cooperative choice among individuals versus groups in an n-person dilemma situation. *J. Pers. Soc. Psychol.* 42:487-96. 1982.
- [9] P. Kollock, *SOCIAL DILEMMAS: The Anatomy of Cooperation*. Annu. Rev. Sociol. 1998. 24:183-214. 1988.
- [10] Fox J, Guyer M. (1977). Group size and others' strategy in an n-person game. *J. Conflict Resolut.* 21:323-38
- [11] W.F. Lloyd [1832] *On the checks to population*. Reprinted in *Managing the Commons*, ed. G Hardin, J Baden. San Francisco: Freeman. 1977.
- [12] D. Luce and H. Raifa, *Games and Decisions*. New York: Wiley. 1957.
- [13] E. Moxnes, *Overexploitation of renewable resources: The role of misperceptions*. Journal of Economic Behavior & Organization Vol. 37 (1998) 107-127. 1998.
- [14] M. Olson, *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press. 1965.
- [15] P. Samuelson P. *The pure theory of public expenditure*. *Rev. Econ. Statist.* 36:387 -89 . 1954.

[16] R. Schuessler , Exit threats and cooperation under anonymity. *J. Conflict Resolut.* 33:728-49. 1989

[17] V. J. Vanberg and R. D. Congleton, Rationality, morality, and exit. *Am. Polit. Sci. Rev.* 86:418-31. 1992

[18] T. Yamagishi and K. Cook, Generalized exchange and social dilemmas. *Soc. Psychol. Q.* 56(4):235-48. 1993.

[19] T. Yamagishi, N. Hayashi and. N. Jin, Prisonerís dilemma networks: selection strategy versus action strategy. In *Social Dilemmas and Cooperation*, ed. U Schulz, W Albers, U Mueller, pp. 233-50. New York: Springer-Verlag. 1994.

Autores

Juan Sebastián Jaén Posada es Ingeniero administrador de la Universidad Nacional de Colombia, Mágister en Ingeniería de Sistemas y estudiante de doctorado. Ha trabajado en el campo de la optimización y en el campo de la simulación de sistemas complejos.

Santiago Montoya es Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia, Mágister en Planificación de los recursos hidráulicos y Doctor en Ingeniería. Es profesor asistente de la Universidad Nacional de Colombia y trabaja en el campo de las finanzas, la investigación de operaciones y la simulación de los sistemas complejos.

Capacidades tecnológicas para la introducción de tecnologías energéticas en comunidades rurales aisladas¹

Ceballos, Fernando., Robledo, Jorge y Aguilar, José Javier.
{fceball,jrobledo, jjaguila}@unalmed.edu.co
Universidad Nacional de Colombia -Sede Medellín-

Resumen— Las comunidades pertenecientes a zonas rurales no interconectadas son vulnerables en muchos países de escaso nivel de desarrollo. Los bajos niveles educativos, el poco acceso a servicios públicos y la mala explotación de los recursos naturales, ha impedido su correcto desarrollo tecnológico y social. Diferentes esfuerzos se han realizado para evitar este hecho, partiendo desde las entidades gubernamentales y de las mismas comunidades para posibilitar un desarrollo social y humano a través de la incorporación de sistemas energéticos sostenibles que permitan la satisfacción de necesidades primarias o la obtención de rentas adicionales para su bienestar. Sin embargo, dichos esfuerzos pueden fracasar, ya que dicho grupo humano no posee o no puede acumular capacidades que le permita ser más viable su operación, mantenimiento, sostenibilidad operativa y el uso posterior de estas tecnologías energéticas para la generación de valor en la comunidad. Como medio para entender el problema, se elabora un modelo basado en el pensamiento sistémico, el cual permite reunir las características más relevantes del fenómeno lo cual admite la identificación de los problemas más significativos, la evaluación de políticas y la simulación del comportamiento de las mismas a través del tiempo. Dado el proceso investigativo que encierra cada sección del problema, en este artículo se abordará el problema núcleo del estudio, el cual es la gestión tecnológica. Así entonces, se presenta a través de un modelo de dinámica de sistemas un análisis de las diferentes variables que influyen o ven afectados los procesos de acumulación de capacidades en las comunidades, que afectan directamente los componentes de la gestión tecnológica. Igualmente se muestra como la acumulación y la evolución de estas variables ayudan a comprender los mecanismos de apropiación de una tecnología. El artículo plantea la importancia de este tipo de resultados en la construcción de políticas públicas orientadas a la toma de decisiones en los procesos de incorporación y uso de tecnologías en comunidades aisladas. Adicionalmente los

resultados de la presentación del modelo preliminar están en capacidad de poder detectar con la amplitud requerida tanto la problemática, como los procesos de cambio que de manera integral, es decir a nivel humano, de recursos y procesos, serían necesarios de implantar en la misma, para tener un crecimiento y desarrollo sostenibles y en términos viables en el tiempo.

Índice de Términos— Capacidades tecnológicas, aprendizaje tecnológico, comunidades rurales, energización de zonas no interconectadas

I. INTRODUCCIÓN

En muchos países, las comunidades rurales situadas en zonas no interconectadas son altamente vulnerables [1], [2], [5]. El escaso nivel educativo, el poco acceso a servicios públicos y la mala explotación de los recursos naturales impiden el correcto desarrollo tecnológico y social de las mismas. En el caso de la energización, diferentes esfuerzos se han realizado para evitar este hecho, esfuerzos que han partido de entidades gubernamentales, así como de las mismas comunidades, y frecuentemente han estado orientados a posibilitar su desarrollo sostenible, buscando la viabilidad económica en el uso de las tecnologías y, al mismo tiempo, el desarrollo social y humano de las comunidades. Sin embargo, dichos esfuerzos han tenido diferentes resultados debido a los bajos niveles de apropiación y mantenimiento de las tecnologías mismas, que se suman a la conflictividad que aqueja a dichas poblaciones rurales, lo cual impide un manejo sostenible de dichas tecnologías [19].

Para responder algunos interrogantes sobre la problemática antes planteada, se presenta un modelo elaborado mediante el paradigma de

¹ Este trabajo presenta avances del proyecto de investigación “Plataforma para el soporte a la evaluación de políticas y la toma de decisiones en energización de zonas no interconectadas en Colombia”, en su componente de Gestión Tecnológica. El proyecto está siendo ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, con la colaboración del Imperial College (Inglaterra), la financiación de Conciencias y la cofinanciación del Consultor Guio Español

dinámica de sistemas, en el cual, a través de una visión multidisciplinaria, se presentan elementos que muestran un análisis integral, que ayuda a identificar y comprender con mayor claridad y profundidad los problemas que tiene una zona rural en sus procesos de implementación de tecnologías energéticas; sus múltiples causas y sus consecuencias [9]. Así mismo, al ver todos estos elementos como un ente integrado, conformado por partes que se interrelacionan entre sí a través de una estructura que se desenvuelve en un entorno determinado, se estará en mejor capacidad de poder detectar, con la amplitud requerida, tanto la problemática como los procesos de cambio que, de manera integral, sería necesario implantar en la comunidad para tener un crecimiento y desarrollo sostenibles y viables en el tiempo. Estos resultados permitirían a los tomadores de decisiones identificar y evaluar aquellas capacidades tecnológicas requeridas para llevar a cabo procesos de energización en comunidades rurales no interconectadas.

II. LA PERSPECTIVA SISTÉMICA

El pensamiento sistémico es la actitud del ser humano, que se basa en la percepción del mundo real en términos de totalidades para su análisis, comprensión y acción, a diferencia del planteamiento del método científico, que sólo percibe partes de éste y de manera inconexa [13].

El pensamiento sistémico aparece formalmente hace unos 45 años atrás, a partir de los cuestionamientos que desde el campo de la Biología hizo Ludwing Von Bertalanffy [1], quien cuestionó la aplicación del método científico en los problemas de la Biología, debido a que éste se basaba en una visión mecanicista, que lo hacía débil como esquema para la explicación de los grandes problemas que se dan en los sistemas vivos.

Este cuestionamiento llevó a plantear un reformulamiento global en el paradigma intelectual para entender mejor el mundo que nos rodea, surgiendo formalmente el paradigma de sistemas [18].

El pensamiento sistémico es integrador, tanto en el análisis de las situaciones como en las

conclusiones que nacen a partir de allí, proponiendo soluciones en las cuales se tienen que considerar diversos elementos y relaciones que conforman la estructura de lo que se define como "sistema", así como también de todo aquello que conforma el entorno del sistema definido [11]. La base filosófica que sustenta esta posición es el Holismo.

Bajo la perspectiva del enfoque de sistemas la realidad que concibe el observador que aplica esta disciplina se establece por una relación muy estrecha entre él y el objeto observado, de manera que su "realidad" es producto de un proceso de co-construcción entre él y el objeto observado, en un espacio-tiempo determinados, constituyéndose dicha realidad en algo que ya no es externo al observador y común para todos, como lo plantea el enfoque tradicional, sino que esa realidad se convierte en algo personal y particular, distinguiéndose claramente entre lo que es el mundo real y la realidad que cada observador concibe para sí [3]. La consecuencia de esta perspectiva sistémica, fenomenológica y hermenéutica es que hace posible ver a la organización ya no como que tiene un fin predeterminado, como lo plantea el esquema tradicional, sino que dicha organización puede tener diversos fines en función de la forma cómo los involucrados en su destino la vean, surgiendo así la variedad interpretativa. Estas visiones estarán condicionadas por los intereses y valores que posean dichos involucrados, existiendo solamente un interés común centrado en la necesidad de la supervivencia de la misma.

Así, el pensamiento Sistémico plantea una visión inter, multi y transdisciplinaria que ayudará a un análisis integral, que permite identificar y comprender con mayor claridad y profundidad los problemas que tiene una zona rural, sus múltiples causas y consecuencias. Así mismo, viendo a la éstos como un ente integrado, conformados por partes que se interrelacionan entre sí a través de una estructura que se desenvuelve en un entorno determinado, se estará en capacidad de poder detectar con la amplitud requerida tanto la problemática, como los procesos de cambio que de manera integral, es decir a nivel humano, de

recursos y procesos, serían necesarios de implantar en la misma, para tener un crecimiento y desarrollo sostenibles y en términos viables en el tiempo.

A continuación, se presentan los elementos que hacen que este problema sea un modelo integrador, entre la gestión tecnológica y medios de vida sostenibles.

III. MEDIOS DE VIDA SOSTENIBLES

Medios de Vida Sostenibles [MVS] es una metodología que permite pensar acerca de las metas, posibilidades y prioridades del desarrollo para acelerar el progreso en la erradicación de la pobreza. Los MVS permiten que se definan mecanismos institucionales que permitan que las personas que están presentes en una comunidad logren hacer exitosa una decisión y las estrategias que hacen posible que las personas que están en difíciles condiciones de vida tengan mejores condiciones. La teoría de los Medios de Vida se centra principalmente y por encima de todo en las personas [4]. Su objetivo consiste en lograr una comprensión precisa y realista de los puntos fuertes de los pueblos (activos o dotaciones de capital) y de su lucha por convertir éstos en logros positivos en materia de Medios de Vida [4].

El DFID (Department for international development) ha planteado este marco metodológico, el cual afronta el problema del desarrollo de las poblaciones menos favorecidas. Este marco está compuesto por diferentes objetos, que permiten un enfoque holístico del problema, ya que descompone todas las comunidades en cinco capitales:

- Capital humano
- Capital social
- Capital natural
- Capital físico
- Capital financiero

El enfoque de medios de vida sostenible evalúa cada una de las componentes de los capitales, haciendo desagregación de las características inherentes a las comunidades.

Esta teoría está fundamentada en la creencia de

que los pueblos requieren de una amplia gama de activos para lograr resultados positivos en materia de medios de vida. No existe una única categoría de activos que por sí misma baste para alcanzar los múltiples y variados objetivos que persiguen los pueblos. Esto es así sobre todo en el caso de las poblaciones menos favorecidas, que tienen un acceso muy limitado a cualquier categoría de activos. Como resultado de esto, se ven obligadas a buscar el medio de alimentar y combinar los escasos activos que poseen de una forma innovadora para asegurarse la supervivencia [4].

Las comunidades rurales aisladas están compuestas por personas que normalmente no poseen amplios conocimientos técnicos y/o tecnológicos, los cuales hacen que la implementación de una política de energización en dichas comunidades fracase, si no se implementan las metodologías apropiadas para el acompañamiento de la opción energética. Es allí donde se hace pertinente el análisis de medios de vida en conjunto con la gestión tecnológica, que se describe en la siguiente sección

IV. GESTIÓN TECNOLÓGICA

La gestión tecnológica es la actividad organizacional mediante la cual se define e implanta la tecnología necesaria para lograr los objetivos y metas del negocio en términos de calidad, efectividad, adición de valor y competitividad.

Cuando se habla de tecnología, existen varios términos asociados a ella que le imprimen diferentes connotaciones, dependiendo de su origen, su importancia relativa o la forma en la que se encuentra representada.

Puede hablarse, por ejemplo de:

A. Tecnología dura: la que se considera incorporada a máquinas, equipos, plantas de proceso, etc.

B. Tecnología blanda: la que se refiere a metodologías, procedimientos, estilos de administración, etc.

C. Tecnología incorporada: la que se encuentra haciendo parte de un equipo o máquina.

D. Tecnología desincorporada: la que se encuentra

descrita en documentos tales como planos, manuales, patentes, etc.

E. Tecnología medular: la que se considera central, indispensable o crítica para un negocio en particular.

F. Tecnología complementaria: la que no se considera medular, pero que se requiere para lograr los objetivos de un negocio específico.

Orientado a una comunidad, la gestión tecnológica pretende identificar las capacidades necesarias que debe tener una comunidad para lograr manipular de manera adecuada y eficiente la tecnología asociada a la incorporación de opciones energéticas.

No siempre es fácil saber qué de lo que posee una empresa es tecnología, y aún más difícil clasificarla dentro de uno de los grupos descritos anteriormente. Puede existir la tendencia a confundir la tecnología con el producto que comercializa o la función que desempeña [6].

Por otro lado, la existencia de tales capacidades y procesos de aprendizaje debe estar potenciada por la presencia de factores habilitadores de la tecnología, de tipo cultural y/o paradigmático, que hacen que la tecnología tenga sentido para la organización, de cara al logro de los objetivos mutuamente reconocidos [12]. A la existencia y efecto de tales factores obedece la importancia que significa para la comunidad el valor agregado proporcionado por la tecnología energética, con su consecuente impacto percibido sobre los capitales comunitarios.

Cuando se describe la gestión tecnológica, normalmente se mencionan algunas actividades tales como:

- Apropiación
- Mejoramiento
- Innovación

En cada una de ellas está implícito el aprender por parte de las personas que componen la comunidad. Frecuentemente, los entes decidores aprueban inversiones en tecnología, sin tener en cuenta que deben estar acompañadas con inversiones no menos importantes en el proceso de asimilación de la

misma. Esto implica crear las condiciones apropiadas para que las personas y técnicos conozcan, entiendan y aprendan a utilizarla de la manera más productiva. Cuando no se da la suficiente atención a este asunto, es decir, cuando se pasa por alto que se trata de un proceso de transferencia de conocimiento, la tecnología adquirida (equipos) es subutilizada o mal utilizado y la utilización eficiente no mejora y en algunos casos, hasta empeora [16], [17].

La absorción de nuevas tecnologías en zonas rurales aisladas esta sujeta a las condiciones sociales, humanas y físicas de la región. La identificación de grupos étnicos y sociales, instituciones presentes e infraestructura social, hace más difícil la cuantificación de dichas capacidades. Haciendo un símil con una empresa, las capacidades tecnológicas se entienden como la habilidad de las componentes de realizar cambios estructurales y el proceso de propagación de los mismos al interior de la empresa. Los nuevos procesos, nuevos productos son las manifestaciones de novedad en la empresa, y la apropiación de los mismos al interior del grupo humano que labora en la misma define las capacidades al cambio [11].

Debido a que los grupos sociales actualmente se ven obligados a permanecer en ambientes de desarrollo, el nivel en que se localiza el entorno de productividad es uno de los criterios en los que más debe fijarse cada decisor para construir lógicamente sus propósitos u objetivos, de acuerdo al objetivo de la comunidad. Dicho criterio en un entorno de industrialización en el que la comunidad debe estar atenta a dos factores principales, tales como el aprendizaje y la utilización correcta de la tecnología. Estos factores son cruciales a la hora de hablar de sostenimiento, ya que estas deben velar por el cumplimiento de la aplicación de una adecuada variable tecnológica, un aumento de la calidad social y mejores servicios, además de una mayor productividad dentro de sus procesos básicos. El establecimiento de este tipo de variables es una meta a la cual deben llegar las empresas con el fin de fomentar procesos de innovación, y permitir así la gestión de tecnología en cada

proceso.

La generación de tecnología social es un elemento en el que se da a conocer la necesidad de adoptar manifestaciones físicas para que la tecnología se adecue correctamente a los criterios de utilización los cuales son objetivos que pretende la tecnología misma. Por lo tanto, la asimilación, adopción, adaptación, selección y reconfiguración tecnológica son los procesos que deben ser analizados y cuantificados, en busca de medir las capacidades tecnológicas de una empresa o grupo humano.

Para analizar de manera holística este problema, se construye un modelo de dinámica de sistemas, el cual permitirá comprender el comportamiento de la comunidad desde la perspectiva de la Gestión Tecnológica. Para ello se identificarán y relacionarán los componentes del sistema. El modelo permitirá identificar las capacidades requeridas, definir los recursos, los procesos de aprendizaje y otras condiciones necesarias para acumular dichas capacidades y valorar el efecto de la acumulación de capacidades en los capitales de la comunidad.

V. MODELADO DE GESTION TECNOLOGICA PARA LA INCLUSION DE TECNOLOGIAS ENERGETICAS

A. Modelo lógico

La dinámica de sistemas, como herramienta de simulación, ha permitido la elaboración del modelo causal de la figura 1.

En este diagrama causal, se presenta la siguiente dinámica:

- 1) Dado que la capacitación y entrenamiento (entendida como capacitación en manejo de la alternativa energética), es labor de los entes gubernamentales, es una variable exógena en el modelo. Después de seleccionar la mejor alternativa y capacitar a las personas de la comunidad, se presenta un incremento en la capacidad de apropiación y después de un periodo de tiempo, un incremento en la capacidad de mejoramiento, entendida como la habilidad de las personas

en utilizar la energía de una manera que permita el incremento de capital social, entendido como el aumento de grupos humanos, incremento en el capital social como ventajas educativas y dado un retardo de tiempo, la generación de innovación entendida como cambios sustanciales en la generación y uso de la energía.

2) Dado que los capitales social y humano permiten la generación de valor agregado, entendido como un mejor uso de la tecnología energética, la posibilidad de mejoramiento en tecnologías productivas y espacios para el esparcimiento, se puede considerar que este valor agregado, incrementa los capitales humano y social.

3) Para la innovación, es necesario que las personas de la comunidad hallan aprendido eficazmente a manipular la tecnología, además de la inclusión de conocimientos tecnológicos externos, esto aumentale valor agregado de la tecnología, el cual, a su vez incrementa el capital físico, dada la sustitución de biomasa (leña y carbón) por la alternativa energética, generándose un círculo virtuoso, que incrementa las posibilidades de desarrollo de la región.

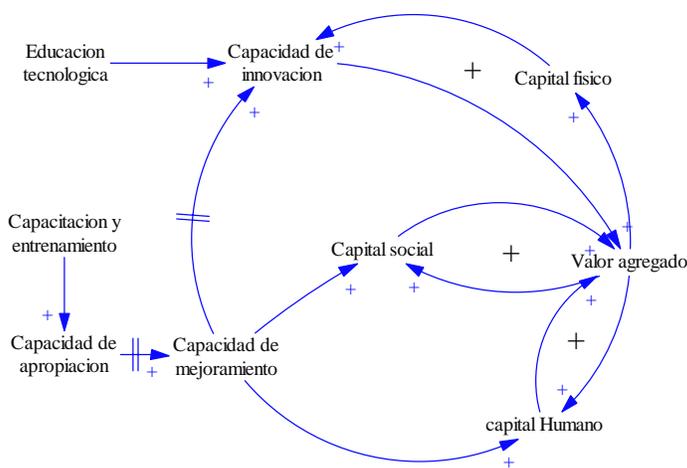


Fig. 1: Capacidades tecnológicas.

B. Resultados

Se emplea Vensim® para el proceso de simulación. Todas las variables que se utilizaron en el modelo funcional, se definieron como adimensionales, ya que los capitales de Medios de

Vida Sostenibles, son indicadores. Además, las capacidades tecnológicas dadas sus características, también se tienen como un conglomerado de acciones que fundamentan un indicador.

Los resultados obtenidos se presentan para una simulación a diez años. Los cambios en los capitales se presentan en la Tabla I.

Como se puede observar, el proceso de incremento en los capitales de la comunidad es lento, ya que diez años es una franja de tiempo considerable, además, no se ha tenido en cuenta los posibles problemas asociados con la conflictividad

TABLA I
CAMBIOS EN LOS CAPITALES, DADA UNA NUEVA TECNOLOGIA

Meses	Capital Humano	Capital Social	Capital Físico	Capital Natural
0	0,2	0,2	0,2	0,3
12	0,32	0,26	0,26	0,3
24	0,36	0,32	0,32	0,3
36	0,41	0,38	0,38	0,3
48	0,47	0,44	0,44	0,3
60	0,55	0,51	0,51	0,3
72	0,62	0,63	0,63	0,32
84	0,70	0,74	0,74	0,38
96	0,85	0,86	0,86	0,44
108	0,90	0,97	0,97	0,5
120	0,94	0,99	0,99	0,56

de las zonas y el factor de complejidad de manejo de la tecnología se ha incluido con unos valores muy bajos.

Los capitales evolucionan como se muestra en la figura 2, los cuales tienen un crecimiento constante, a diferencia de la capacidad de mejoramiento, que presenta un salto de tendencia considerable, al momento de hacerse posible diversos procesos de innovación, dado un mejor uso de la tecnología o un posible cambio sustancial en la forma en la cual se genera la misma.

Los resultados que se presentan en el modelo corresponden a la evolución de una localidad hipotética, ya que la fase de desarrollo del modelo, no incluye aun datos reales, pero se tiene en cuenta la evolución tendencial de unas comunidades del área rural de África [8], y de unas localidades analizadas en Colombia [14], [15], [19], las cuales lograron un sostenimiento de la tecnología de manera viable en el tiempo.

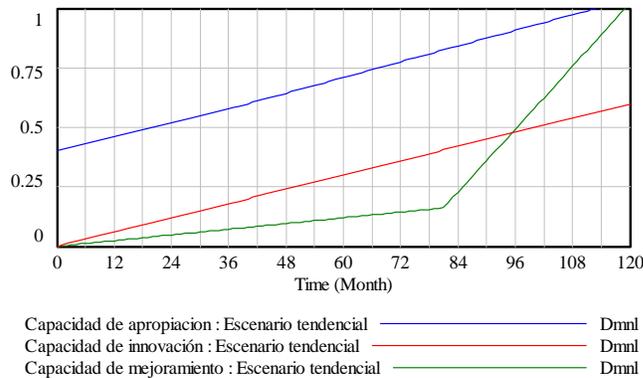


Fig. 2: Evolución de las capacidades tecnológicas.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La tecnología energética es considerada como un polo de desarrollo en cualquier comunidad rural [7], [10]. La cobertura en servicios es impulsadora de procesos que incrementan los capitales, ya sea por creación de grupos humanos, o de capacitación y entrenamiento, haciendo que haya una mayor cohesión y consolidación de la comunidad.

Como trabajos futuros, se sugiere la validación del mismo mediante datos reales y la posibilidad de flexibilizar el modelo para que sea pertinente en múltiples escenarios entendidos como localidades específicas, de manera que sea una herramienta de decisión útil a diversos entes, ya sean gubernamentales o sociales.

REFERENCIAS

- [1] L. V. Bertalanffy, "Teoría general de sistemas".1971
- [2] BID, Banco Interamericano de Desarrollo. "Estrategia para la reducción de la pobreza rural". Washington, D.C. Junio 1998.
- [3] F. Capra, "Las conexiones ocultas: implicaciones sociales, medioambientales, económicas y biológicas de una nueva visión del mundo". España, Editorial Anagrama, 2003
- [4] DFID, Departament For Internacional Development. "Guías Sobre Medios de Vida Sostenibles MVS". En línea. http://www.livelihoods.org/info/info_guidancesheets.html .2002.
- [5] DNP - UPRU- División de Inversiones y Desarrollo Territorial. "Guía para la Formulación de los Planes de Desarrollo Municipal", 2000.

- [6] T. Gergana, "The Concept and the Reconceptualization of Absorptive Capacity- Recognizing the Value" Scuola de Direzione dell'Universita Bocconi. September 2003.
- [7] J. Goldemberg, (ed.), "World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability, United Nations Development Program, United Nations Department of Economic and Social Affairs." World Energy Council, New York, 2000.
- [8] H. Poor, *An Introduction to Signal Detection and Estimation*. New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.
- [9] F. Henao, "Modelo de toma de decisiones multiobjetivos en energización de ZNI, como herramienta para el alcance de MVS". Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2005.
- [10] M.I. Howells M.I., T. Alfstad, N. Cross and L.C. Jeftha "Rural energy modelling" Energy Research Institute, (Department of Mechanical Engineering) University of Cape Town, Private Bag, Rondebosch 7701, South Africa. 2002
- [11] F. Howitzvej, "Absorptive capabilities in industrial districts: the role of knowledge creation and learning and boundary spanning mechanisms". Copenhagen Business School. Department for Industrial Economics and Strategy. Denmark 2000.
- [12] A. Inkpen, "Social capital, networks, and knowledge transfer "Thunderbird and Nanyang Business School. 1999.
- [13] K. Popper, "La lógica de la investigación científica" España : Tecnos, -1985.
- [14] RESURL II. "Seminario taller sobre la energización rural en zonas no interconectadas y medios de vida sostenible". Medellín, Colombia. 2004.
- [15] RESURL. "Renewable Energy for Sustainable Rural Livelihoods". <http://www.env.ic.ac.uk/research/epmg/resurl/> En línea. Consultado octubre 2005.
- [16] J. Robledo, J. Aguilar and F. Ceballos, "Especificación de capacidades tecnológicas para la absorción de tecnologías energéticas en comunidades rurales aisladas" XI seminario de gestión tecnológica. 2005.
- [17] L. Sanjaya, "Technological capabilities and industrialization". World development, vol 20(2). 1992.
- [18] J. Sterman, "Business Dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world". McGraw-Hill. EE UU. 2000.
- [19] V. Viveros, "proyecto de construcción de redes eléctricas, vereda Vitoyo. Municipio de Jambaló, Cauca." Centro de documentación IPSE. Bogota. 2001.

Autores

Yony Fernando Ceballos: Ingeniero de sistemas e informática de la universidad Nacional de Colombia. Estudiante de Maestría en Ingeniería de sistemas en la universidad nacional de Colombia. Profesor de cátedra de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en la actualidad en la universidad Nacional de Colombia en diferentes proyectos relacionados con el área de Dinámica de sistemas.

José Javier Aguilar Zambrano: Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia; M.Sc. en Cambio Técnico y Estrategia Industrial, PREST, Universidad de Manchester (Inglaterra). Actualmente se desempeña como profesor en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, y en la Universidad Pontificia Bolivariana. Es integrante del Grupo de Investigación en Política y Gestión Tecnológica.

Jorge Robledo Velásquez: Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; Magíster en Sistemas de Generación de Energía Eléctrica, Universidad del Valle, Cali (Colombia); Doctor en Estudios de Política Científica y Tecnológica, University of Sussex (Brighton, UK). Actualmente se desempeña como profesor en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Es integrante del Grupo de Investigación en Política y Gestión Tecnológica..

Evaluación de Incentivos para la Promoción de Generación de Electricidad en Colombia a Través de Recursos Eólicos

Dyner, Isaac., Zuluaga, Mónica.
{idyner,mmzuluagr}@unalmed.edu.co
Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín)

Resumen— El presente artículo reporta el estudio realizado para determinar en el contexto colombiano, criterios para la selección y evaluación de instrumentos de política que permitan en el mediano y en el largo plazo acelerar el proceso de difusión tecnológica de la energía eólica. El desarrollo del trabajo se basa en la mirada del agente empresarial como gestor y promotor de la difusión de una nueva tecnología en el mercado eléctrico colombiano. Como parte de la aproximación metodológica se desarrolló un modelo que explica la dinámica de aprendizaje de la nueva tecnología y plantea políticas para incentivar la generación eólica a gran escala. Finalmente, se concluye que en el contexto económico actual y con agentes adversos a realizar inversiones, si es necesario la aplicación de incentivos directos como pagos en dineros (subsidios) para garantizar la penetración de la energía eólica en el mercado.

Índice de Términos—Mercados de Electricidad, Energía Eólica, Dinámica de Sistemas y Procesos de difusión de nueva tecnología.

I. INTRODUCCIÓN

El mundo está experimentando uno de los más fuertes movimientos ambientalistas que haya tenido lugar en todos los tiempos. Se han promovido encuentros a nivel mundial, tales como la conferencia de las Naciones Unidas sobre cambio climático en 1992 y la convención de Kyoto realizada en Diciembre de 1997 que produjo el denominado "Protocolo de Kyoto" y más recientemente la Conferencia de Johannesburgo [1]. Allí se discute con amplitud la importancia de fomentar iniciativas que propugnen por el manejo adecuado de los recursos, con el fin de proteger el ambiente, sin desmedro de las capacidades productivas de las diferentes actividades

económicas y la disminución de gases de efecto invernadero de la capa terrestre [2].

En este entorno, la generación de energía a partir de fuentes renovables está comenzando a tomar fuerza, motivando a los dirigentes de muchos países a implementar acciones tendientes a incrementar los proyectos que en este sentido se han venido desarrollando. Los países en vía de desarrollo, como Colombia, no son ajenos a esta realidad. Sin embargo las iniciativas existentes en este campo son aun insuficientes.

Se deben implementar incentivos porque la integración de energías renovables en las políticas energéticas presentan barreras para alcanzar patrones de desarrollo más sustentables. Por lo tanto se estudió en el contexto del país, la selección y evaluación de una serie de instrumentos de política que permitan en el mediano y en el largo plazo acelerar el proceso de difusión tecnológica específicamente de la energía eólica. El desarrollo del trabajo se contextualizó en la ley 170 de 2001 [3] que establece que en el mediano plazo se implementarán mecanismos para la promoción de las energías renovables. Se reporta en este trabajo posibles vías de acción para regular esta ley mediante las técnicas de simulación proporcionadas por la Dinámica de Sistemas.ⁱ

II. ENERGÍAS RENOVABLES Y MERCADOS ELÉCTRICOS

ⁱ Gracias a la Financiación de Colciencias y Empresas Públicas de Medellín

A. Las Energías Renovables y los Mercados Eléctricos

Las energías renovables en su camino de difusión, tienen relacionadas una serie de barreras de tipo técnico y económico, especialmente lo intensivas en el uso del capital y la necesidad de movilizar los efectos masivos de la producción más bien que los efectos de escala por sus limitaciones de tamaño, y en ciertos casos, sus fallas para generar energía en una base continua.

Los nuevos actores en el mercado de electricidad liberalizado tienden a buscar tecnologías de generación poco intensivas en capital, y propenden hacia la utilización de sistemas a larga escala y a garantizar la confiabilidad en el suministro [4]. Es entonces la divergencia entre lo que buscan los inversores y las limitaciones de las energías renovables lo que pone de manifiesto la necesidad de incentivarlas para garantizar su proceso de difusión.

En mercados liberalizados de países desarrollados se ha verificado como el incremento del uso de la energía renovable en la generación, reduce la dependencia de los combustibles fósiles, y por ende el impacto ambiental [5]. Se puede reportar como en la última década un gran número de instrumentos de política han sido desarrollados e implantados en toda Europa, para soportar el desarrollo de proyectos de generación energética mediante fuentes renovables.

Mientras que en los noventa en los países europeos y en Norte América el principio fue construir mercados para las renovables, actualmente la discusión científica, se focaliza en como integrar el segmento de mercado artificialmente construido dentro del ambiente de mercado liberalizado [5]. Sin embargo, esta no es la problemática que se plantea en Colombia, ya que en el país existe una escasa regulación e incentivos frente a la generación mediante recursos renovables, y por lo tanto no se han creado mercados paralelos para este tipo de energías. La problemática que se plantea en el contexto del país es la selección de instrumentos políticos y la evaluación de éstos, teniendo como

referente la estructura del mercado eléctrico específico.

B. Evaluación de Políticas Energéticas, El Problema en Estudio

El éxito de las diferentes políticas varía significativamente, dada la gran diversidad de mecanismos introducidos para incentivar las energías renovables. En función de soportar la selección de los instrumentos, los economistas han desarrollado muchos criterios de evaluación. Sin embargo, estos criterios de evaluación no han sido enmarcados en una metodología que pueda ser aplicada a cualquier contexto. En términos generales, los estudios consultados responden a la situación particular que se presenta en un país específico. En este trabajo se pretende presentar el caso Colombiano.

La evaluación del diseño de políticas públicas ha sido abordada tanto desde aproximaciones cuantitativas como cualitativas. Cualitativamente la aproximación más extensiva es la de consultar a expertos en torno a la problemática, esta perspectiva es abordada por [6] quienes proponen una metodología para la evaluación de posibles políticas a implementar, basadas en el diseño de cartografías cognoscitivas que estructuran todos los posibles puntos de vistas de un grupo de especialistas y a partir de allí realizar un análisis a políticas del sector público; esta perspectiva se basa fundamentalmente en la negociación y en la toma de decisiones grupales. Cuantitativamente son los modelos macroeconómicos y econométricos los que han sido usados extensivamente para abordar problemas de evaluación de políticas públicas.

Ya en el campo específico de la evaluación de políticas energéticas, desde una mirada económica argumentan que la efectividad de los instrumentos de política energética en la promoción de la utilización de cierta tecnología depende de los valores de las elasticidades de sustitución entre las entradas y los niveles de progreso tecnológico [7]. En últimas estas son las que definen los ajustes en precios y determinan la expansión o no de ciertas

tecnologías para suplir la demanda energética. Luego en su trabajo realizan un seguimiento a variables de tipo económico frente a la inserción de incentivos, para determinar la efectividad o no de la política implementada.

El punto inicial de las actividades de planificación de políticas, es la formulación de unos objetivos precisos, esto puede estar acompañado de un análisis tecnoeconómico característico del sistema de abastecimiento real energético y la existencia de mecanismos de mercados en el sector. Este análisis da una primera idea de los cambios necesarios en el sector y de la estructura en función de alcanzar el objetivo, en este caso la promoción de la generación y consumo de energías renovables [5].

Ya desde la perspectiva económica, y más concretamente desde el enfoque macroeconómico, el problema de regulación frente a nuevas tecnologías se basa fundamentalmente en modelar la perspectiva individual de la firma. Las propuestas se remiten a monitorear el comportamiento de los agentes individuales frente a los incentivos introducidos [8] el análisis es de tipo cuantitativo y estático puesto que se realiza en un momento “t” definido.

A partir de la revisión bibliográfica se definió como punto de partida la evaluación de políticas en el caso de provisión a gran escala y esta definición deriva a la construcción de un modelo que consulte permanentemente los mecanismos de mercado. Adicionalmente se constató que la tecnología y su proceso de difusión era un aspecto predominante en la selección de cualquier política, por ello se realizó el análisis para sólo una de las diferentes tecnologías, el estudio se focalizó en la energía eólica por ser la fuente más competitiva, en razón a que sus precios actuales con incentivo igualan los de la generación térmica a gas en los países desarrollados [9]. Específicamente se espera que los costos de la eólica decrezcan entre un 35-40% entre 1998 y 2006 [10].

Finalmente como resultado del análisis bibliográfico se caracterizó el problema como un problema de selección y evaluación de políticas públicas, en el campo específico de la generación de electricidad mediante recursos eólicos (inserción de

nuevas tecnologías en un mercado). Este problema debe ser entendido como un proceso de carácter sistémico ya que más allá de la idea de maximización de las utilidades de una compañía como consecuencia del cambio tecnológico, está implícito un conjunto de sinergias y externalidades intrínseco a cualquier sistema de innovación [11].

III. EVALUACIÓN DE POLÍTICAS Y PROCESOS DE DIFUSIÓN TÉCNOLÓGICA

La planificación de políticas en el sector eléctrico debe estar acompañada de un análisis tecnoeconómico característico del sistema de abastecimiento real energético y de la existencia de mecanismos de mercados en el sector; es decir, no se pueden evaluar políticas sin modelar adecuadamente la forma como el mercado, en este caso, el eléctrico se comporta. Sin embargo, por tratarse de la incorporación de una nueva tecnología este problema macro está asociado con un subproblema de selección y difusión de tecnologías [5]. Es decir, que el ejercicio de modelamiento que propuesto como estrategia para abordar el problema, dada la necesidad de abstraer el comportamiento del sistema como tal para luego someterlo a las diferentes alternativas de políticas y regulaciones, tiene implícito dos niveles: Un nivel macro donde se modela el comportamiento del mercado y de la tecnología en ese mercado y un nivel micro entendido como el modelamiento de la firma y de su posición estratégica frente a la posibilidad de diversificación de su base tecnológica.

IV. PROPUESTA METODOLOGICA PARA ABORDAR EL PROBLEMA DE DIFUSIÓN DE UNA TECNOLOGÍA Y DE SELECCIÓN DE INCENTIVOS

Se caracterizó un sistema de difusión como un sistema dinámico donde confluyen aspectos sinérgicos más halla de las funciones de maximización de utilidades de la firma, Esta condición que presenta el problema objeto de análisis ubica a la dinámica de Sistemas como una buena metodología para la obtención de conclusiones entorno al problema planteado. Según

Barnes (2002) [12] la utilización de modelos de dinámica de sistemas que ilustran la dinámica del sector eléctrico son numerosos, particularmente en UK (Bunn y Larsen, 1992; Larsen y Bunn, 1997), pero también en US (Ford, 1997; lyneis, 1997) y Colombia (Dyner, 1995; Dyner y Bunn, 1997). Estos modelos han sido creados para analizar problemas particulares resultado de los cambios estructurales de la industria energética y de la regulación. Es así como la dinámica de sistemas se convierte en la parte central de la metodología diseñada para este fin discriminada en dos etapas.

A. Primera Etapa

Esta etapa hace alusión a la abstracción del mercado de electricidad y el comportamiento de una nueva tecnología en ese mercado, se caracteriza como un sistema donde confluyen múltiples variables, ciclos de realimentación y retardos, ya que los parámetros tecnológicos son afectados por los desarrollos pasados [7]. El problema goza entonces de una complejidad dinámica.

El diagrama causal se presenta en la Figura 1 y recoge la dinámica del mercado eléctrico colombiano, además representa como el proceso de aprendizaje de una tecnología (eólica) impacta reduciendo los costos de la tecnología en el medio; y finalmente justifica como este aprendizaje influye la toma de decisiones de una empresa generadora (estrategia) cuando busca definir proyectos de expansión; aquí se parte del hecho que la estrategia de inversión no sólo depende de la señal de precios, puesto que en Colombia, según algunos autores el precio de la electricidad en el mercado eléctrico no esta suministrando las suficientes señales para la inversión [13]. Las inversiones que se gesten posiblemente serán estratégicas. Es así como se hace referencia a como el proceso de aprendizaje de la tecnología eólica puede influenciar positivamente las decisiones estratégicas para que se realicen inversiones en la tecnología de generación eólica. Los módulos abordados interactúan entre sí a través de relaciones causales. Tal como se evidencia en la Fig. 1.

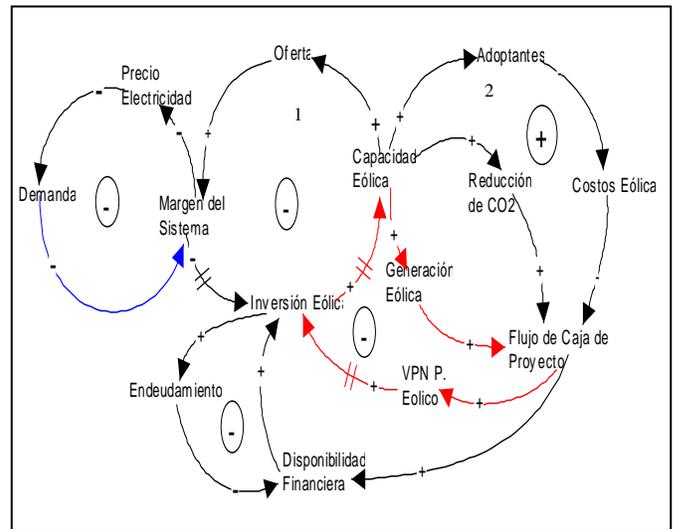


Fig. 1: Dinámica de la Inserción de una Nueva Tecnología de Generación en el Mercado Eléctrico Colombiano

En los siguientes ítems se describen los ciclos más importantes presentados en la Figura 1

Dinámica del Mercado de Electricidad Colombiano. Los dos ciclos negativos resaltados con el número 1 en la Figura 1, representa la forma de modelamiento del comportamiento del mercado. A medida que el margen del sistema (Capacidad de generación-demanda de electricidad) sea mayor, el precio de electricidad será menor y el precio afecta la demanda debido a la elasticidad existente entre estas variables, formando un ciclo de retroalimentación. De otro lado el precio de la electricidad y el margen en capacidad presentan incentivos a invertir, los cuales afectan la capacidad de generación y se cierra el ciclo de retroalimentación [14]. Sin embargo, la relación causal entre precio y demanda, como realmente se registra en la literatura no fue abordada a través del concepto de elasticidad sino mediante la construcción de escenarios de demanda alta, media y baja que sintetizan esta relación.

El Aprendizaje y la Utilización de los Recursos Induce más Aprendizaje. Laither (2001) [15] expresa que una retroalimentación positiva esta vigente entre el cambio tecnológico, los recursos y los otros recursos. Esta relación se encuentra ilustrada en el ciclo positivo número dos de la Figura 1 y se puede expresar como que a medida que existe un mayor aprendizaje de la tecnología,

hay nuevos adoptantes, lo que hace un mayor poder de mercado y que los costos de la tecnología sean más bajos; en esa medida el costo de oportunidad de la utilización del viento para generar en lugar de otras tecnologías se hace más bajo, si este costo es más bajo, la inversión se hace mayor, reforzando el aprendizaje interno que se logre de la tecnología, ya que existe un aprendizaje externo reflejado en el costo de los aerogeneradores que será incluido en el modelo como una variable externa.

La Capacidad Eólica es el vínculo entre los ciclos que representan la dinámica del mercado de electricidad en Colombia y la dinámica del aprendizaje de la tecnología. Adicionalmente se puede constatar como la variable capacidad eólica afectan otras variables que se han definido deben ser monitoreadas en el sistema, como aspectos financieros, flujos de caja de los proyectos eólicos, niveles de endeudamiento, entre otros. La reducción de CO₂ debido a la generación de electricidad a partir de los recursos eólicos y los mismos costos de la tecnología por efectos del aprendizaje.

Horizonte de Tiempo. El tipo de problema hace que el modelo deba ser desarrollado con un lapso de tiempo prudencial que permita la evaluación a través del tiempo. Según los casos internacionales las legislaciones que buscan incentivar la utilización de fuentes alternativas de energía para el suministro de la electricidad por lo general comprenden períodos entre 12 y 15 años, bajo el argumento que se protege la tecnología hasta que esta alcance cierto grado de maduración [16]. El modelo por lo tanto correrá durante 240 períodos que representan 20 años de simulación, precisamente porque las políticas sólo pueden ser evaluadas a largo plazo.

B. Segunda Etapa

El modelo en Dinámica de Sistemas esta fundamentado en la estrategia de la firma, que como ente individual decide invertir o no en generación a través de recursos eólicos. Parte de la aproximación metodológica de esta propuesta es definir los agentes a ser modelados. Para realizar este modelamiento micro el primer paso fue la selección

de los agentes a ser modelados, Según García y Arbeláez (2002) [17] en Colombia sólo tres grandes compañías se comportan estratégicamente: EMGESA, EPM e ISAGEN, cada firma hace lo mayor que puede unilateralmente y por lo tanto fija diferentes planes de producción de electricidad para sus recursos. Estas tres empresas serán las modeladas inicialmente no solamente por el argumento presentado por los autores referenciados anteriormente sino fundamentado en el hecho que actualmente en Colombia existen sólo incentivos a mediano plazo para emprender proyectos pequeños que complementen cadenas hidrológicas [13]. La energía eólica ofrece firmeza a sistemas netamente hídricos [18], luego los proyectos eólicos se consolidan como altamente viables para llevar a cabo expansión en el medio Colombiano especialmente por ser proyectos modulares, la escala de estos proyectos se ubican entre 10 y 50 MW (proyectos pequeños). Luego EMGESA, EPM e ISAGEN por ser empresas con un gran componente hidrológico y buscando complementar sus cadenas hidrológicas pueden ubicar su inversión potencial en proyectos eólicos.

Se plantea que cada firma actúa unilateralmente y por lo tanto fija diferentes planes de expansión eólicos, se caracteriza este como un juego que depende de la evolución del VPN Neto del MW eólico en el tiempo, de las restricciones financieras, de la tasa de rentabilidad exigida por el inversionista y del margen del sistema.

Las condiciones de inversión se basan en la premisa que un inversor racional solo invierte si dos condiciones son conocidas: La condición del beneficio y la condición de arbitraje. Esto es, un inversor solo invierte en el tiempo t si el valor presente neto esperado de la adopción en un punto en el tiempo es positivo. La condición de arbitraje, en contraposición implica que un inversor racional solo invierte en el tiempo t si esperar no es más beneficioso que posponer la inversión [19]. En el siguiente numeral se presentan los aspectos básicos de la formalización del modelo que ha sido presentado.

C. Validación del Modelo

En el modelo es posible hacer validación histórica con respecto a algunas variables, específicamente aquellas relacionadas con el seguimiento del mercado. En este caso se representará en el proceso de validación como el modelo reproduce el precio de bolsa, se selecciona esta variable como a ser validada históricamente, ya que es un eslabón para los diferentes módulos del modelo.

Existen otros módulos, relacionados todos con el comportamiento del sistema a partir de la entrada de la eólica, para cuyas variables no hay disponibilidad de datos históricos que permitan una validación de este estilo. Se evaluó la consistencia del comportamiento del modelo a través de la comparación de ciertas variables como la evolución de la capacidad instalada eólica frente al comportamiento del Valor Presente Neto para un agente y la utilidad versus este valor presente neto, también analizado para un agente. Se seleccionaron estas variables para confirmar la consistencia del modelo porque son las que gobiernan el proceso de difusión de la tecnología. Y como se ha expuesto anteriormente el modelo lo que persigue es abstraer el proceso de difusión de la tecnología para poder responder cómo el regulador colombiano puede acelerar dicho proceso.

En este aparte se presentarán tanto el precio de bolsa real frente al simulado como una aproximación a la validación histórica del modelo (Figura 3) y una representación de la tendencia de variables importantes en el modelo como la capacidad instalada de energía eólica por empresa, la evolución de las utilidades en proyectos eólicos, entre otros.



Fig. 3: Precio de bolsa real vs. Precio de bolsa simulado para el periodo 1998-2003

Como se puede apreciar en la Figura 4 el cuadrante señalado con las líneas rojas es el cuadrante donde se empiezan a generar inversiones en la nueva tecnología, como lo afirma Roger (1995) [20], las empresas solo empiezan a utilizar una tecnología cuando ésta es lo suficientemente madura como para brindar beneficios y es lo que se puede evidenciar en la gráfica presentada para una de las tres empresas modeladas durante 240 períodos de simulación (20 años). La empresa se abstiene de invertir, porque fue más rentable esperar que realizar la inversión.

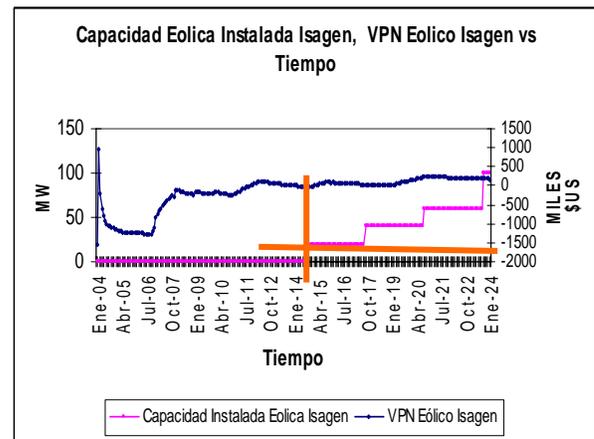


Fig.4: Evolución de la Capacidad Instalada Eólica Isagen vs VPN Eólico Isagen en el tiempo

Adicionalmente como se puede observar en la Figura 5 la evolución positiva del VPN del MW Eólico por razones de aprendizaje tecnológico hace que la utilidad de este tipo de proyectos sea positiva en períodos avanzados de la simulación (línea roja) ya que en este punto se cuenta con proyectos que entraron con bajos costos de capital.

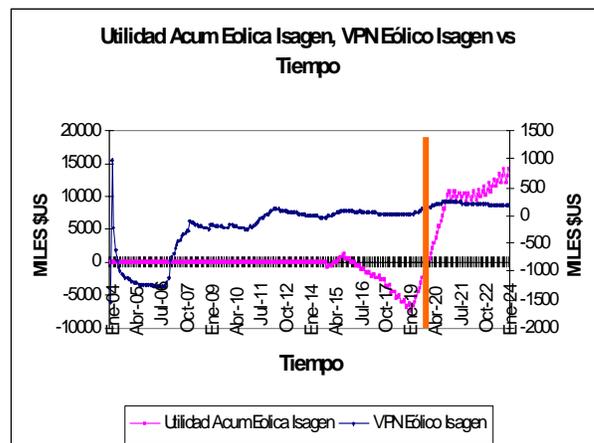


Fig. 5: Evolución de la Utilidad acum. En proyectos Eólicos vs. Utilidad acum. Eólica Isagen

Con el proceso de validación llevado a cabo se logró establecer en primer lugar que el modelo reproduce correctamente el comportamiento del mercado y en segundo lugar que variables como la utilidad de los proyectos eólicos y la capacidad eólica instalada por agente reaccionan frente al VPN del MW eólico, tal cual como se esperaba teóricamente.

V. EVALUACIÓN DE INCENTIVOS: CASO COLOMBIANO

Se presenta entonces como resultado del modelo la capacidad eólica total incluyendo la inversión de otros agentes, asumiendo que éstos también realizan inversiones modulares estableciendo como parámetros de difusión bajos, y el margen del sistema variando entre 0.40-0.30, la capacidad eólica alcanzará sólo un nivel de 600 MW aproximadamente en todo el período de la simulación, tal como se puede apreciar en la Fig. 6.

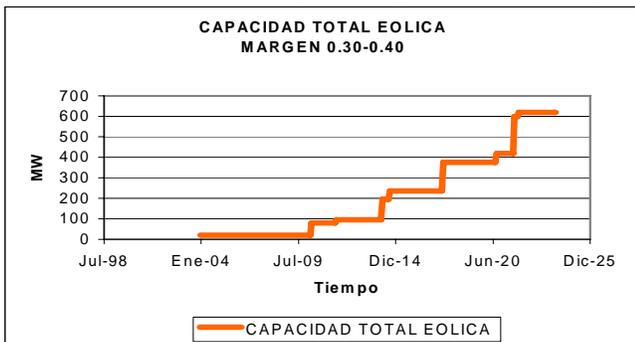


Fig. 6: Evolución de la Capacidad Total Eólica Margen 0.30-0.40

Si se analiza la difusión de la eólica con márgenes en el sistema inferiores al 30% se nota que la capacidad instalada eólica total en el período de simulación alcanza aproximadamente 700 MW, 100 MW por encima del caso anterior, lo que hace que la difusión de la tecnología no sea notablemente sensible al margen del sistema y que otros factores como el factor costo de la tecnología sean predominantes a la hora de decidir si expandir o no con esta alternativa tecnológica (Figura 7).

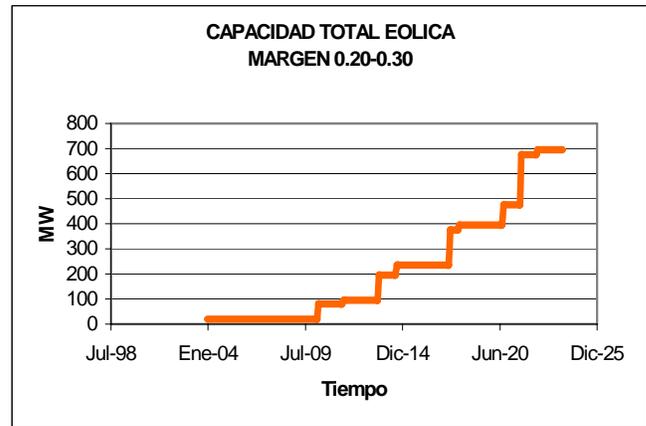


Fig. 7: Evolución de la Capacidad Total Eólica Margen 0.20-0.30

De las simulaciones de capacidad instalada eólica se puede establecer que en Colombia la capacidad instalada de esta tecnología posiblemente fluctuará entre 500 y 800 MW en los próximos 20 años, esta evolución dependerá notablemente de la cohesión entre los agentes y del papel que cumpla el Estado como promotor de su utilización para la generación de electricidad.

En el capítulo anterior se dio una mirada a los sistemas de incentivos aplicados a nivel mundial para incentivar la generación de electricidad mediante recursos renovables y se analizaron posibles incentivos a ser aplicados en el caso colombiano, tal como se puede evidenciar en la Tabla I.

Tabla I. Incentivos a Ser Analizados Financiados por el Gobierno y por el Sector

GOBIERNO
Reducción al impuesto de Renta
Gastos en Educación e investigación
Créditos Blandos
SECTOR
Subsidios Directos

Se evaluó cada uno de los incentivos presentados en la Tabla 1 con el objetivo de abordar la pregunta planteada en este trabajo: ¿Cuál es el efecto de los incentivos en un sistema de expansión de la capacidad de generación eléctrica donde se tiene como alternativa tecnológica, la generación con base en recursos eólicos?, analizando los efectos de

los incentivos en el sistema se podrá determinar la efectividad de su aplicación para acelerar el proceso de difusión de la tecnología en el caso colombiano [21].

La evidencia teórica y empírica sugieren que la tasa de dirección de avance tecnológico es influenciada por el mercado y por los incentivos regulatorios, se pretende entonces mirar la influencia de estos últimos. Se Evaluaron dos casos, el caso base sin incentivos y el caso con incentivos que se presentan en los siguientes apartes.

A. Caso Base

En el caso base se evalúa la evolución de la capacidad instalada eólica sin ningún tipo de incentivo, es decir, un impuesto de renta vigente de 35%, una tasa de interés Efectiva Anual del 8%, cero subsidios directos e inversión nula en investigación y desarrollo y un escenario de crecimiento de la demanda medio. Como se puede constatar (Figura 8) al final de la simulación, sin ninguna clase de incentivos la eólica alcanzaría aproximadamente 700 MW, es decir, el 7% de la capacidad instalada actual y una proporción mucho más baja al final de la simulación (20 años) teniendo en cuenta que la capacidad instalada de otras tecnologías también crece a través del tiempo.



Fig. 8: Caso Base. Evolución de la Capacidad Instalada Eólica sin Incentivos

B. Juego de Incentivos

En este aparte se evaluará como evolucionará el sistema haciendo una combinación de los incentivos propuestos a ser analizados, para este fin se realizarán las simulaciones comprendidas en la Tabla 2, tanto para un período de 10 años como de 20 años.

Tabla II. Simulaciones Conjunto de Incentivos

SIMULACIÓN 1	SIMULACIÓN 2	SIMULACIÓN 3
Impuesto de Renta: 0	Impuesto de Renta: 0	Impuesto de Renta: 0
Tasa de Interés: 11%	Tasa de Interés: 7%	Tasa de Interés: 5%
Inversión I&D: 500000\$US/m	Inversión I&D: 800000\$US/m	Inversión I&D: 1000000\$US/m
Subsidios Directos: 2\$US/Mwh	Subsidios Directos: 4\$US/Mwh	Subsidios Directos: 8\$US/Mwh
Plazo Préstamo: 10 años	Plazo Préstamo: 15 años	Plazo Préstamo: 20 años

En la Fig. 9 se presenta el resultado de correr los tres casos de la Tabla 2 para un período de 10 años (120 meses), como es de esperarse el caso de la Simulación 1 (caso donde se presenta un menor nivel de incentivos) está por debajo de los otros dos escenarios. Con el grado de Incentivos señalados en el caso 3 se alcanza un nivel de 350MW aproximadamente que representan el 2.15% de la Capacidad actual, lo cual es relativamente bajo; esto se debe fundamentalmente a que en 10 años no se tiene una tecnología completamente madura y por lo tanto se requiere una posición de incentivos más intensiva como por ejemplo abonos directos de capital para incrementar la inversión en la nueva alternativa de generación de electricidad.

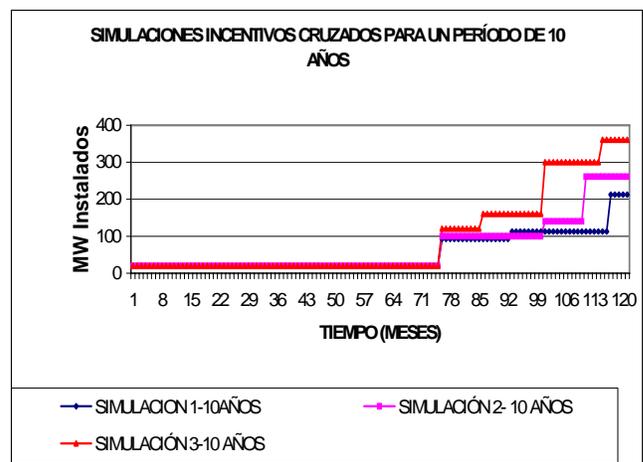


Fig. 9: Simulación Conjunto Incentivos para un Período de 10 Años

Cuando se duplica el tiempo de simulación, es decir, se corre el modelo durante 240 meses (20 años) se observa en la Figura 10 que para el caso 3 de la Tabla 2 al final de la simulación se alcanzan 1500 MW eólicos o sea cuatro veces más que lo obtenido cuando el modelo se corrió durante la mitad del tiempo, esto nos indica que el tiempo y sobre todo la evolución de la tecnología en él, es un factor decisivo en los resultados. Adicionalmente puede observarse como a medida que el tiempo de la simulación avanza los efectos de los incentivos se hacen más visibles.

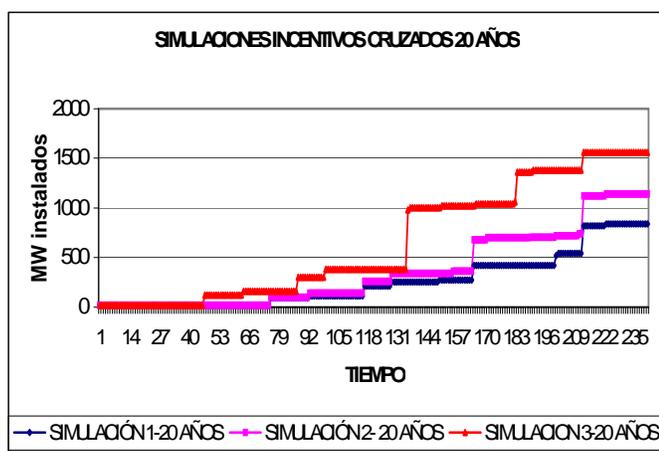


Fig.10: Simulaciones Conjunto de Incentivos (20 años)

Es de destacar que todos los resultados aquí presentados corresponden a una aproximación donde la decisión de inversión de los agentes esta gobernada por el concepto del Valor Presente Neto; no se debe perder de vista que se ha establecido la inversión de las empresas en su carácter discreto, es decir, la inversión que usualmente se concreta en algunos períodos.

VI. CONCLUSIONES

Se estableció como producto de este trabajo la evaluación de un conjunto de incentivos viables para la promoción de la energía eólica. Para dar cumplimiento a este objetivo se diseñó una serie de experimentos de simulación de donde se constató que existe una baja efectividad en la promoción de las energías renovables de las políticas fiscales que convocan la inversión como la exención en el impuesto de renta, mientras que otro tipo de políticas como los subsidios directos presentan un

mayor efecto cuando se trata de acelerar el proceso de difusión de la tecnología.

Se ha encontrado como una dificultad para el modelamiento el hecho de desconocer los parámetros que van a regir el proceso de difusión tecnológico, en el modelo estos fueron introducidos como parámetros que pueden ser cambiados por el usuario de acuerdo con el análisis que pretenda efectuar; se establece entonces como un trabajo futuro, la valoración de estos parámetros para el caso colombiano y paralelo a este estudio determinar aspectos que también influyen en este proceso como el poder de mercado de los generadores e importadores de tecnología y la influencia de la redes entre organizaciones en este proceso de difusión tecnológica, estos elementos en el modelo fueron reducidos a la intervención de algunos parámetros que establecieron los límites de modelamiento y por lo tanto a su vez se presentan como futuras extensiones a este trabajo. Pero que en primera instancia requieren hacer seguimiento real en el mercado a la evolución de la tecnología.

REFERENCIAS

- [1] UNITED NATIONS. 2002. World Summit on sustainable development. Agosto 24 a septiembre 4 de 2002. Resumen día a día de las ponencias de la cumbre. <<http://www.un.org/events/wssd/summaries/>>, [en línea]
- [2] I. Concha, y G. Jaimes, Energía y Cambio Climático, la situación de Colombia frente al Protocolo de Kyoto. Energética, No. 22, 21-39. 1999
- [3] REPÚBLICA DE COLOMBIA, Ley 170 de 2000
- [4] P. Menanteau, y OTROS. "Price Versus Quantities: Choosing Policies for Promoting the Development of Renewable Energy", Energy Policy, Volumen 31, 2003, p. 799-812
- [5] N. Enzensberger, M. Wietschel and O. Rentz, "Policy Instruments Fostering Wind Energy Projects- A Multi-perspective Evaluation Approach". Energy Policy, Volumen 30, 2002, p.p. 793-801
- [6] C. Eden y Ackermann, "La cartografía cognoscitiva las vistas especialistas para el análisis de la política en el sector público", European Journal of Operational Research. Volumen 152, Febrero de 2004, p.p. 615-630
- [7] G.H. Kuper y D. P- Van Soest, "Path-dependency and Input Substitution. Implications for Energy Policy Modeling". Energy Economics. Volumen 25 No 4, 2003 p. 397
- [8] R. Madlener and M. Schneider, Economic Modelling of the Diffusion of Wind Power in Germany: Comparison of

- Approaches and Policy Implications. Paper prepared for the 3rd European Congress on the “Economics and Management of Energy in Industry”, [en línea], <www.cepe.ethz.ch/download/staff/reinhard/madlener_schneider_winddiffusion2.pdf>, Portugal, 2004
- [9] L.M. Gomez, Aspectos Relevantes de Energía Eólica, [en línea], <<http://www.conae.gob.mx/work/secciones/1601/imagenes/windpower2001.pdf>>, 2002
- [10] K. Bennholt, “Explaining learning curves for wind power”, Energy Policy, Volumen 30, 2002, p. 1181-1189
- [11] Cepal. Fortalecimiento de los Sistemas de Innovación y el Desarrollo Tecnológico. [en línea], <[/www.revistainterforum.com/espanol/pdfes/CEPALGlobo-c7.pdf](http://www.revistainterforum.com/espanol/pdfes/CEPALGlobo-c7.pdf)>, Santiago de Chile, 2002
- [12] F. Barnes, M. Leach, y M. Ruth, “The Mexican Energy Sector: Integrated Dynamic Analysis of the Natural Gas/Refining System”. Energy Policy, Volumen 30, 2002, p.p. 767-779
- [13] U. Ayala y J. Millán, La Sostenibilidad de las Reformas del Sector Eléctrico en Colombia. Cuadernos de Fedesarrollo, primera edición, 2003
- [14] INTEGRAL-UN-COLCIENCIAS. “Plataforma en Dinámica de Sistemas para Analizar Posibilidades de Inversión en Generación Eléctrica”. Informe Final. Universidad Nacional de Colombia – Integral S.A. - COLCIENCIAS. Medellín, Colombia, 2000. 200p.
- [15] J.A. Laitner, Y Otros. “Room for improvement: increasing the value of energy modeling for policy analysis”, Utilities Policy, Volumen 11, 2003, p. 87-94
- [16] L. Ayres, The Economy as a Materials/Exergy Processor, [en línea], <http://antalya.uab.es/_c_ceambientales/XTEI/curs/Ayres2.pdf>, Octubre de 2003
- [17] A. García, y L. Arbeláez, "Market Power Analysis for the Colombian Electricity Market", Energy Economics, Volumen 24, Issue 3. p. 217-229. 2002.
- [18] G. Bakos, “Feasibility Study of a Hybrid Wind/Hydro Power-System for Low-Cost Electricity Production”, Applied Energy, Volumen 72, Issue 3-4, Julio-Agosto de 2002, p.p. 599-608
- [19] P. A. Geroski, “Models of Technology Diffusion”, Research Policy, Volumen 29, Issue 4-5, Abril de 2000, p. 603-625
- [20] E. M. Roger, Diffusion of innovations, Cuarta Edición, Nueva York: The Free Press, 1995
- [21] Jaffe y OTROS. A Tale of two market failures: Technology and environmental policy. Discussion Paper. Resource for the future, [en línea] <www.rff.org> Washington, Octubre de 2004
- Colombia (Sede Medellín). Este artículo hace parte del trabajo de grado desarrollado

Autores

Breve referencias sobre la formación académica del autor y su experiencia.

ISAAC DYNER R. Profesor Universidad Nacional de Colombia con amplia trayectoria en la aplicación de la Dinámica de Sistemas a sistemas energéticos.

MONICA MARCELA ZULUAGA. Estudiante de Maestría de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de

Dinámica de Sistemas e Inteligencia Artificial como apoyo a la conformación de proyectos de gestión tecnológica en empresas de distribución eléctrica

Pérez Ana, Hoyos Santiago, Moreno Germán, Díaz Idanis
{alopez,shhv406,gmoreno}@udea.edu.co. idiaz@guayacan.udem.edu.co
Universidad de Antioquia, Universidad de Medellín

Resumen— Este artículo presenta una metodología para abordar la problemática de la desarticulación entre la gestión tecnológica y la variación de la relación oferta - demanda del mercado de energía eléctrica y resultados obtenidos con una herramienta computacional que integra técnicas de dinámica de sistemas e inteligencia artificial.

La solución integra un software de simulación compuesto por un modelo de Dinámica de Sistemas (DS), con un algoritmo genético y un sistema multiagente, en una metodología que sugiere un portafolio de proyectos que pueden ser priorizados con base en criterios de costo, duración, complejidad e impacto en los objetivos organizacionales. Las simulaciones se realizaron en escenarios probables y deseables, condicionados dinámicamente por la demanda, la regulación y referentes tecnológicos.

Índice de Términos: Gestión tecnológica, dinámica de sistemas, sistemas multiagente, algoritmos genéticos.

I. INTRODUCCIÓN

Entre finales de 2001 e inicios de 2003, el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, la Universidad de Antioquia y el Centro de Investigación y Desarrollo del Sector Eléctrico Colombiano realizaron un estudio de la Gestión Tecnológica en una empresa de distribución eléctrica (EDE) [1]-[3] en el que se identificaron acciones de mejoramiento (AM) como soporte del proceso de gestión tecnológica en EDE. Como sugerencia del estudio, las AM fueron agrupadas en proyectos que refuerzan positivamente la productividad y la competitividad empresarial. Para ello se utilizaron metodologías organizacionales para la evaluación y ejecución de proyectos, tales como MPVA (mediciones de productividad con un enfoque de

valor agregado) y PHVA (planear, hacer, verificar y actuar), con las que se evaluó el impacto de cada proyecto (que agrupaba algunas AM) en cuanto a su aporte a los objetivos organizacionales, cuales son aumentar ingresos, reducir egresos y satisfacer al cliente.

Luego de la aplicación de las diferentes metodologías de apoyo a la gestión tecnológica para la consideración de las acciones de mejoramiento, sus relaciones con las unidades de gestión tecnológica (UGT)¹ y su aporte a la competitividad y productividad ante el concurso de variables exógenas, se concluye que el ejercicio deja en manos de expertos la toma de decisiones, bajo una mirada un tanto estática de la EDE, ocasionando no solo la prevalencia de un modelo mental soportado por enfoques particulares sino retardos para el procesamiento sistemático de grandes volúmenes de información, y una rápida eliminación de alternativas sin aún análisis adecuado de estas.

A. *Comprensión asistémica de la gestión tecnológica en las EDE.*

La gestión tecnológica empresarial puede abordarse desde diferentes enfoques y con diversas metodologías, pero es inevitable que incluya un análisis de unidades, el cual sugerirá naturalmente AM de las mismas para ajustar la gestión al logro de sus objetivos.

Ahora bien, un enfoque adecuado de la gestión tecnológica requiere un alineamiento con los

¹ Unidades de Gestión Tecnológica: Entidades a través de las cuales se caracterizó el proceso de gestión tecnológica en la EDE.[2]

objetivos organizacionales, que directamente están condicionados por la oferta, la demanda y la regulación. Llevar en consideración todo lo anterior para la toma de decisiones en gestión tecnológica, requiere de una comprensión sistémica y del desarrollo de herramientas de apoyo que permitan monitorear una dinámica asociada a múltiples variables. No abordar este trabajo significa permitir una participación del azar en los resultados, más alta de lo aconsejable.

En este estudio se realiza un avance orientado al desarrollo de herramientas necesarias para pasar desde un conjunto amplio de AM hasta la conformación, guiada por un análisis sistémico, de un portafolio de proyectos priorizados, que permita al nivel decisorio de la organización, una toma de decisiones con mayor probabilidad de éxito de cara al logro de los objetivos empresariales.

Para el caso en estudio, se realizó una caracterización dinámica de algunas variables y relaciones que intervienen en la definición de portafolios de proyectos bajo las condiciones exógenas y escenarios locales de distribución eléctrica.

En la fig1 se observan los supuestos y las variables del modelo, su entorno y sus relaciones causales. Cabe anotar que este modelo es en principio generalizable a toda la gestión empresarial y para cualquier tipo de empresa, pero será considerado específicamente

para la gestión tecnológica de una EDE, como se describe a continuación:

La demanda siempre condicionará la oferta de servicios y esta a su vez, generará dentro de la empresa un conjunto de AM (o demanda_interna) que son resultado de un análisis de unidades de gestión tecnológica (UGT). Ese análisis se da en términos del dominio o habilidad para desarrollar dinámicamente las tecnologías y de su importancia o nivel de contribución a los propósitos y estrategias globales del negocio.

Visto de otra forma, el análisis evalúa el aporte de las UGT a los objetivos empresariales en términos de productividad y competitividad. Así, las AM están asociadas a UGT y buscan, mejorando el dominio y la importancia de ésta, lograr una oferta que responda adecuadamente a la demanda y permita el posicionamiento deseado de la organización en el mercado.

Pero esta dinámica de las UGT es afectada también por agentes externos, de los cuales se decidió considerar solo dos en este desarrollo metodológico, en atención a su alta potencialidad de incidencia: la regulación y los referentes tecnológicos. Al final, se producirá un Portafolio de Proyectos Priorizados (PPP) que constituyen el abanico de alternativas con los cuales se podrá mejorar la oferta de servicios para la satisfacción adecuada de la demanda.

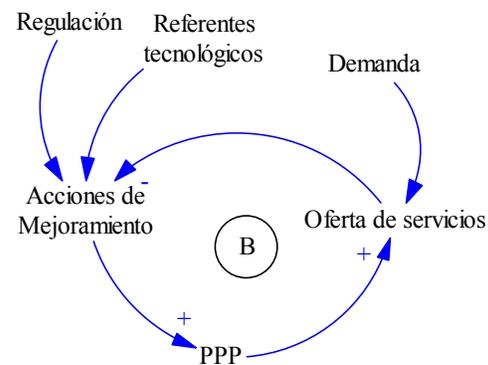


Figura 1. Modelo causa efecto de la EDE.

La demanda se presenta en términos de:
 1. "Volumen" de energía (cantidad de kW-h) requerido por los usuarios, y
 2. Calidad de esa energía, con componentes de calidad de la potencia (indicadores de mínima variación de las magnitudes de la tensión y la frecuencia, del factor de potencia y la distorsión armónica) y de calidad del suministro (indicadores de duración y frecuencia de interrupciones).

El modelamiento de la gestión tecnológica en la EDE se hace posible por medio de la identificación de UGT y las relaciones entre ellas, en un modelo de dinámica de sistemas que permite ver el

posicionamiento organizacional en el mercado a través de los parámetros de dominio e importancia, después de implementar el PPP y cuantificar su impacto sobre los objetivos empresariales, a través de los canales de generación de valor de la EDE (estos en principio son tres: Sistema de Distribución Local o SDL, Nuevos Mercados y Servicios de Valor Agregado; sin embargo, estrictamente el único obligado es el SDL, dado su carácter misional y su aporte mayoritario en los ingresos financieros de la EDE; los demás pueden no existir o ser diferentes; por esta razón, en este caso de estudio, solo se considerará el SDL).

B. Dinámica de sistemas e inteligencia artificial

En apoyo a la metodología en cuestión se desarrolló una herramienta computacional en el lenguaje de programación Visual Basic siguiendo la metodología INGENIAS [4] para el desarrollo de SMA.

Esta aplicación mediante un algoritmo genético permite realizar todas las posibles combinaciones de AM, calificar dichas combinaciones y seleccionar las óptimas según su impacto positivo en los siguientes objetivos empresariales: aumentar ingresos, reducir egresos y satisfacer al cliente, para alcanzar la productividad y competitividad deseada o aquella condicionada por el mercado.

La herramienta entrega un Portafolio de Proyectos Iniciales (PPI), que se lleva a un modelo de DS para simular el comportamiento dinámico de la EDE bajo condiciones exógenas de: demanda del mercado, referente tecnológico y regulación. Integrando dinámica de sistemas y sistemas multiagente, es posible simular la implementación de los proyectos sugeridos y tomar decisiones en escenarios probables.

La dinámica de sistemas permite la simulación de los modelos mentales y además suministra herramientas computacionales para simular el comportamiento de las variables en el tiempo. Dicha simulación requiere un tratamiento

cuantitativo de todas las variables del sistema con el propósito de expresar sus relaciones a través de una formulación matemática. De esta manera se consigue percibir el efecto global de variaciones incrementales locales de las variables, esto es, se consideran efectos sinérgicos de refuerzo o regulación, en este caso, entre las UGT.

Por su parte, los sistemas multiagente hacen parte de una nueva área de la inteligencia artificial llamada inteligencia artificial distribuida. Este tipo de sistemas se pueden concebir como sistemas computacionales en los cuales, varios agentes semiautónomos interactúan entre sí para colaborar en la solución de un conjunto de problemas o en la consecución de una serie de objetivos individuales o colectivos [5].

En el desarrollo presentado en este artículo se utiliza un sistema multiagente para diseñar una solución computacional que permita establecer un conjunto de acciones de mejoramiento o entradas que alimentan un modelo de simulación de dinámica de sistemas, encontrando un portafolio de proyectos optimizado con los que una EDE puede responder dinámicamente a la demanda del mercado bajo condiciones de cambio en sus referentes tecnológicos y la regulación, orientando sus esfuerzos a aumentar ingresos, reducir egresos y satisfacer al cliente.

De esta manera, uno de los aportes de este trabajo es un modelo híbrido entre sistemas multiagente y dinámica de sistemas, para constituir una aproximación optimizada a un problema de estrategia empresarial.

II. METODOLOGÍA PARA LA AGREGACIÓN DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO EMPRESARIAL.(ACME)

En la fig 2 se muestra la metodología propuesta para la agregación de acciones de mejoramiento en proyectos que impactan positivamente la productividad y competitividad de empresas de distribución eléctrica.

A. Etapa 1. Determinación del beneficio global asociado a las acciones de mejoramiento en la organización.

Luego de un estudio sobre el proceso de gestión tecnológica de una compañía de distribución eléctrica, donde el producto final es un conjunto de acciones de mejoramiento que impactan positivamente la productividad y competitividad empresarial, debe hacerse un proceso de especificación de estas acciones, en relación con la UGT asociada, así.

Se debe tener en cuenta que la gestión tecnológica de la EDE está constituida por Unidades de Gestión Tecnológica UGT, o entidades a través de las cuales se caracteriza dicho proceso, por ejemplo: UGT1: Gestión de Planeación Técnica; UGT2: Gestión de Pérdidas; UGT3: Gestión de Calidad del Servicio; UGT4: Gestión Estratégica; UGT5: Gestión de Información. Con base en lo anterior se puede especificar una AM con dos subíndices (A_{ij}) que indican la UGT a la que está asociada (índice i) y el número de consecutivo de la acción (índice j).
Ejemplo A15: Acción de mejoramiento 5 asociada a la UGT 1.

Dichas AM deben ser valoradas con un estimativo del tiempo de su implementación (t_{ij}) y con un costo de implementación (c_{ij}). Así mismo, interesa estimar impactos (mejoras) de las AM_{ij} en su propia UGTi: ΔD_i en el dominio y ΔI_i en la importancia. Esto debe realizarse hacia el final de la etapa de evaluación del dominio de la UGT, por el equipo evaluador interno, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

Puesto que las AM se generan a partir de una mirada predominantemente local (hacia la propia UGT bajo análisis), el indicador W_i debe servir para ponderar el beneficio de la respectiva AM_{ij} , si bien permitiendo una incidencia más directa del efecto sobre su importancia (ΔI_{ij}) por estar más claramente ligado al beneficio global (pues se mira y estima en relación con los objetivos organizacionales), en tanto que el beneficio del efecto sobre su dominio se considera que es fuertemente afectado por la

posición de la UGTi. Teniendo en cuenta lo anterior, se propone α_{ij} como indicador del beneficio global asociado a una AM_{ij} , valorado así:

$$\alpha_{ij} = \Delta I_{ij} + \omega_i * \Delta D_{ij}$$

Además el W_i puede ser calculado con base en los criterios expuestos en la siguiente tabla

Tabla 1. Criterios para estimar el peso de las UGT

Como un indicador de la bondad estratégica de proyectos sobre una UGTi según su posición (D_i , I_i), se propone W_i con la siguiente valoración, donde: Alto > 0.5; Bajo <= 0.5 Nivel		W_i
D_i	I_i	
Bajo	Alto	$(1-D_i)*I_i$
Alto	Alto	$(1-D_i)*I_i*0.8$
Alto	Bajo	$D_i*I_i*0.6$
Bajo	Bajo	$D_i*I_i*0.4$

El análisis de la gestión tecnológica de las empresas de distribución eléctrica puede sugerir del orden de 100 acciones de mejoramiento. Para el caso de este estudio se seleccionó una muestra aleatoria de las siguientes 10 AM consideradas plausibles:

- A15: Monitorear nuevas tecnologías para optimizar o evaluar su impacto potencial en el desempeño del SDL.
- A22: Incrementar apropiación de conocimiento sobre control de pérdidas.
- A23: Integrar funciones de gestión de mercados.
- A24: Revisar y formular alternativas de negocio.
- A31: Realizar gestión con grandes clientes para conocer los perjuicios económicos causados por mala PQ (calidad de la potencia o “Power Quality”).
- A32: Realizar seguimiento a la evolución técnica de la industria (Prospectiva).
- A34: Realizar Gestión Regulatoria.
- A35: Potenciar la directriz de colocarse al nivel de las compañías de clase mundial en cuanto a indicadores.
- A41: Posicionar la gestión estratégica como elemento básico de supervivencia del negocio.
- A43: Estructurar seguimiento al plan estratégico y el reconocimiento a los logros.

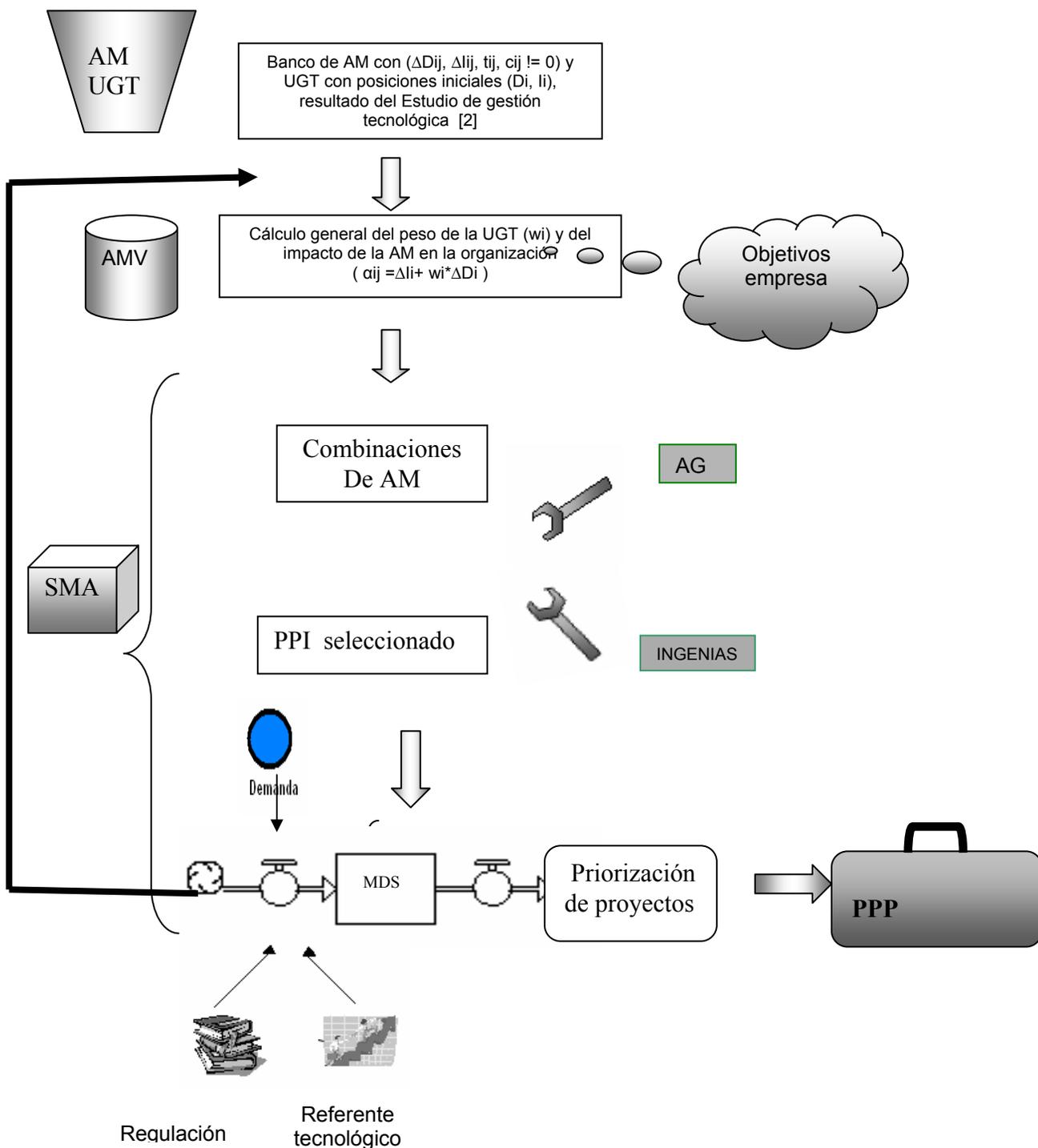


Figura 2. Flujo de trabajo de la metodología para la toma de decisiones sobre acciones de mejoramiento de gestión tecnológica en empresas de distribución eléctrica.

Donde;

AMV: acciones de mejoramiento valoradas con el indicador α_{ij}

ΔD_{ij} : Impacto de la AMj en el Dominio de la UGTi asociada

ΔI_{ij} : Impacto de la AMj en la Importancia de la UGTi asociada

t_{ij} : tiempo de implementación de la AMij

c_{ij} : costo de implementación de la AMij.

D_i : Valor inicial del Dominio de la UGTi

I_i : Valor inicial de la Importancia de la UGTi

W_i : indicador de bondad estratégica de acciones que mejoran la UGTi.

α_{ij} : beneficio global asociado a la Acción de Mejoramiento AMij

AMV: acciones de mejoramiento valoradas con el indicador α_{ij}
 AG: algoritmo genético
 PPI: Portafolio de proyectos inicial
 MDS: Modelo en Dinámica de Sistemas
 PPP: Portafolio de proyectos priorizados

Con las cuales se llega al producto de la etapa 1, que se muestra en las Tablas 2 y 3, en nuestro caso de aplicación.

Tabla 2. Valoración del peso de la UGT según su posición

UGT	Dominio	Importancia	Peso (Wi)
Gestión Planeación Técnica	0,3	0,64	0,448
Gestión Pérdidas	0,57	0,71	0,3053
Gestión Calidad	0,55	0,45	0,1215
Gestión Estratégica	0,3	1	0,7
Gestión Información	0,3	0,71	0,497

Tabla 3. Valoración de AM

A _{ij}	Impacto (%)		Tiempo (meses)	Costo miles\$	Impacto General
	(ΔD_{ij})	(ΔI_{ij})	t _{ij}	c _{ij}	α_{ij}
A15	.1	.1	6	5000	0,145
A22	.12	.04	12	11000	0,077
A23	.04	.03	12	9000	0,042
A24	.03	.02	6	6000	0,029
A31	.06	.02	6	10000	0,027
A32	.06	.01	10	25000	0,017
A34	.15	.05	12	15000	0,050
A35	.15	.0	12	50000	0,018
A41	.15	.02	10	12000	0,125
A43	.1	.01	4	9000	0,080

B. Etapa 2. Definición del Portafolio de Proyecto Inicial (PPI).

Para esta etapa de la metodología se debe contar una herramienta computacional que permite realizar la combinación de AM, la calificación de estas combinaciones y luego obtener el PPI seleccionado como el conjunto de las combinaciones más promisorias, tomando en cuenta los valores tiempo y costo de implementación de las AM, así como su

impacto en la organización, resultado de la etapa anterior.

Se sugiere para el análisis y diseño de dicha herramienta de computadores la utilización del paradigma de la programación orientada a agentes inteligentes, debido a que este problema amerita un trabajo colaborativo de diferentes módulos de software, que pueden estar en un ambiente distribuido [5]. Se propone un agente inteligente que sea un algoritmo genético (AG), encargado de la combinación y calificación de combinaciones de AM según una función objetivo, determinada por la parametrización de los objetivos empresariales y donde existan restricciones de agregación de AM, como una AM, inhibe la implementación de otra, es decir, que pueden existir AM mutuamente excluyentes, también puede darse el caso de AM, que se encuentran cubiertas o incorporadas en otras.

Existe otro tipo de restricciones provenientes del tiempo máximo que se espera para la implementación de un proyecto o combinación de AM, y el costo de implementación de dicho proyecto en la organización. Estos dos parámetros, deben ser ingresados al sistema Multiagente (ver fig3) a través de una Interfaz Grafica de Usuario, manejada por un agente encargado de la comunicación con el usuario final, el cual presentará los resultados finales.

Se sugiere la implementación de un agente administrador, encargado del control del sistema y de la base de datos donde reposa la información de las AM y las UGT de la empresa, así como un agente de comunicación que permita la interacción entre los agentes antes mencionados y el paso del PPI seleccionado a un modelo en dinámica de sistemas, donde se realice la simulación del comportamiento del la empresa, frente a la implementación de cada uno de los proyectos, sugeridos por el AG.

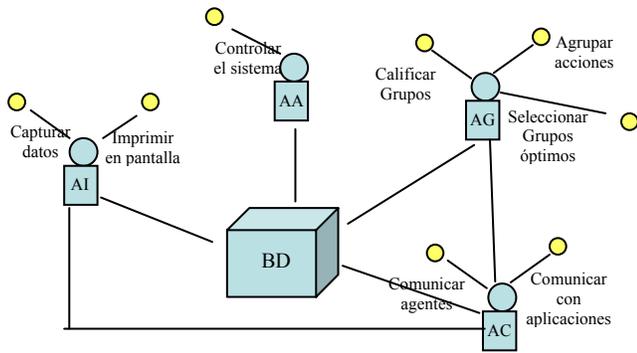


Figura 3. Modelo de agentes simplificado

Bajo el procesamiento de un experto y del AG, a partir de las acciones de mejoramiento de la etapa 1 se puede llegar al PPI Seleccionado y verificar la calidad del programa para realizar la agregación de AM en proyectos, dada la función objetivo y las restricciones expresadas con base en los criterios mencionados. Obteniéndose los resultados presentados en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados experto Vs. SMA.

PROYECTOS	COMBINACIÓN EXPERTO	COMBINACIÓN SMA
Proyecto 1	A41 A43	A15 A43
Proyecto 2	A41 A15 A43	A15 A23
Proyecto 3	A23 A24 A31	A15 A23 A43

C. Etapa 3. Validación del PPI seleccionado por simulación con Dinámica de sistemas.

El PPI seleccionado debe ser ingresado a un modelo de dinámica de sistemas desarrollado con el software Powersim [7] donde además de las variables que conforman las UGT a través de las cuales se caracterizó el proceso de gestión tecnológica en una EDE, se encuentran involucradas variables exógenas como la regulación y los referentes tecnológicos, que constituyen escenarios que condicionarán la gestión de dicho proceso. El resultado de esta simulación permite evaluar el posicionamiento de la empresa en el mercado a través de la valoración del dominio e importancia alcanzados por las UGT, que son entregados por el modelo de simulación en dinámica de sistemas para la EDE, ante la entrada de un proyecto del PPI Seleccionado al sistema.

Los proyectos con resultados más promisorios pasan entonces a ser priorizados con base en parámetros críticos para la organización como son:

Financieros: se pueden utilizar indicadores de costo y rentabilidad de cada uno de los proyectos comparados con la Tasa Interna de Retorno y el Valor Presente Neto, o la relación Costo / Beneficio, según el caso. También algunos indicadores de Riesgo financiero como el grado de exposición e incertidumbre para la recuperación de la inversión y la rentabilidad esperada.

Complejidad. Vista desde las dificultades técnicas para el manejo de nuevas tecnologías y el conocimiento a desarrollar en la empresa alrededor de éstas.

Tiempo: en primer lugar, el tiempo de duración del proyecto y en segundo lugar, el tiempo de espera o retardo en la entrega de resultados, acorde con el tiempo de cumplimiento de metas, y la visión empresarial.

III. SIMULACIÓN

En las EDE se pueden definir alrededor de 20 UGT de las cuales, para esta exploración metodológica, se tomaron algunas consideradas relevantes por su potencialidad de afectar el desempeño de la empresa y además procurando cubrir dos tipos de unidades, específicas² (las tres primeras) y transversales (las dos últimas), así: Gestión de Planeación Técnica, Gestión de Pérdidas, Gestión de Calidad del Servicio, Gestión Estratégica, y Gestión de Información.

Existe un conjunto de relaciones o sinergias entre las UGT que implica que el movimiento en el dominio y la importancia de una de ellas, produce luego de un tiempo de percepción y de reacción, otro movimiento en aquellas UGT's que estén relacionadas, justificando así la utilización de la

² Tecnologías específicas ó componentes del SDL y Tecnologías Transversales o “blandas” que ayudan a un mejor desempeño de la gestión tecnológica [3]

dinámica de sistemas como herramienta para su simulación.

Se consideró plausible adoptar una forma de S para caracterizar en el tiempo el efecto de las AM sobre las UGT asociadas, con diferentes parámetros según se trate del efecto sobre el Dominio o sobre la Importancia.

Por ejemplo, la fig 4. muestra el efecto de la AM (A15) sobre el Dominio de la UGT Planeación técnica, observándose un pequeño valor del efecto en el primer año, correspondiente al tiempo de implementación de dicha AM en la empresa. Posteriormente, se nota un incremento exponencial del efecto de la AM en el Dominio de la UGT, como consecuencia de su implementación, y luego aparece un punto de inflexión, después del cuarto año (48 meses), a partir del cual se tiende a la estabilización en el valor máximo, estimado por los expertos en la primera etapa de la metodología. Esto, porque con el transcurso de los años las AM implementadas llegan a un límite de impacto en la organización, dando lugar a nuevas AM. Es decir, la metodología asume procesos cíclicos de adaptación de mejoramientos, unos y otros determinados por la dinámica de exigencias externas (variables exógenas) y condiciones internas de respuesta.

Se consideró plausible adoptar una forma de S para caracterizar en el tiempo el efecto de las AM sobre las UGT asociadas, con diferentes parámetros según se trate del efecto sobre el Dominio o sobre la Importancia.

Todo esto se debe a que con el transcurso de los años las AM implementadas llegan a un límite de impacto en la organización, dando lugar a nuevas AM. Es decir, la metodología asume procesos cíclicos de adaptación de mejoramientos, estando aquellos determinados por la dinámica de exigencias externas y condiciones internas de respuesta.

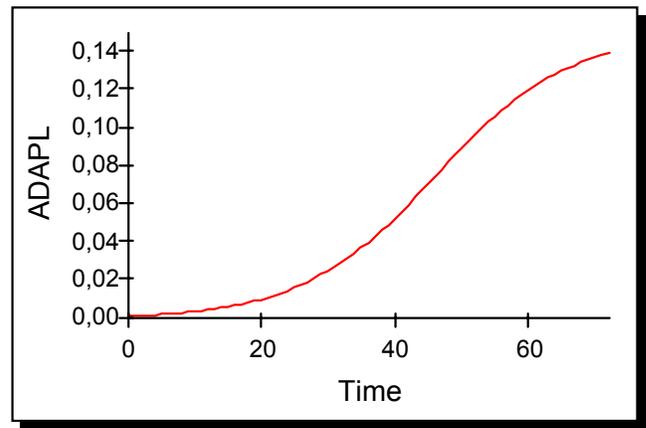


Figura 4. Efecto de la A15 en el Dominio de la UGT Planeación Técnica.

Por otra parte, teniendo en cuenta la velocidad del cambio tecnológico y la duración de los ciclos regulatorios de la CREG, se definió un tiempo de simulación de 5 años, con un paso mensual de simulación.

Del análisis de gestión tecnológica de partida, se conocen las posiciones relativas de cada UGT en términos de dominio e importancia, como se observa en la fig 5.

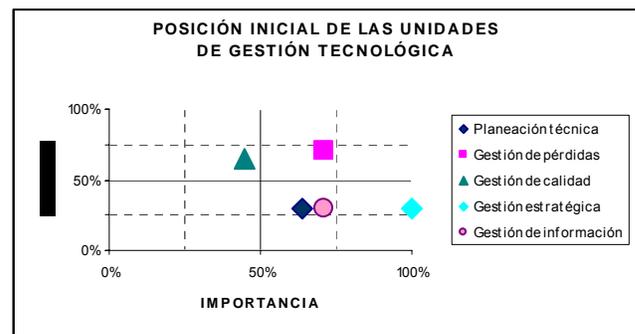


Figura 5. Posiciones iniciales de las UGT.

A. Definición de Escenarios

Los escenarios en que se mueven las empresas pueden ser definidos por la variación de variables exógenas, ya que su condición propia se ha caracterizado a través del dominio y la importancia de sus UGT.

Se han escogido para esta simulación las variables exógenas de la Tabla 5, correspondientes a la demanda, la regulación y los referentes tecnológicos, por considerarlos altamente representativos del entorno en que la empresa busca ser competitiva

La tabla 5 describe un escenario dinámico en el que en un período de 5 años las variables exógenas hacen presencia con una determinada intensidad de cambio (valor 1 para una intensidad extremadamente alta, por ejemplo un fuerte cambio tecnológico presentado en la industria, que la lleve a requerir una calidad de la potencia tan alta que prácticamente no permita variaciones en las características de la onda; valor 0 para una intensidad extremadamente baja donde los cambios generados en la industria no impactan significativamente la EDE). Es posible de esta forma configurar escenarios previsible frente a los cuales interesa estimar el desempeño tecnológico de la empresa.

Tabla. 5 Intensidad de cambio de las variables exógenas en el tiempo

VARIABLES EXÓGENAS	AÑOS				
	1	2	3	4	5
Demanda de Calidad		0.3			
Demanda de Suministro				0.2	0.2
Reg Calidad de la Potencia			0.5		
Reg Calidad del Servicio			0.4		
Reg de Pérdidas			0.4		
Equipos	0.4				
Automatización		0.4			
Prepago					0.5

El escenario representado por la tabla 5 tiene como característica más fuerte un cambio en el año 3 (que puede observarse en las intensidades anuales) por presiones desde la regulación para un aumento significativo en la calidad de la potencia y del servicio, como también de una disminución de las pérdidas aceptadas (consideradas inevitables y por tanto reconocidas en la facturación) lo que puede ser típico del inicio de un nuevo ciclo regulatorio. Adicionalmente, se representa en el año 2 un aumento mediano en la demanda de calidad de la energía simultáneo con un cambio relativamente fuerte en la tecnología de automatización utilizada

en el medio; en el año 4 se representa un aumento significativo pero no muy fuerte de la demanda de energía, por encima de lo previsto en la planeación estratégica (que naturalmente debe estar realizando previsiones de esta demanda).

B. Resultados de la Simulación

Luego de ingresar los datos y simular cada uno de los proyectos bajo el escenario establecido, se obtuvieron las siguientes evoluciones de Importancia y Dominio, respectivamente, de las UGTs. E: Estratégica, I: Información, Per: Pérdidas, Pl: Planeación técnica, Q: calidad

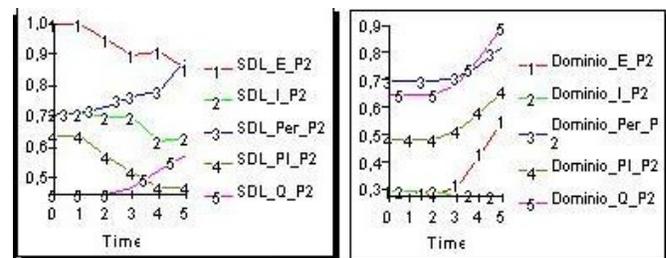


Figura 6 Importancia y Dominio de las UGT luego de Implementar A 15A31A41

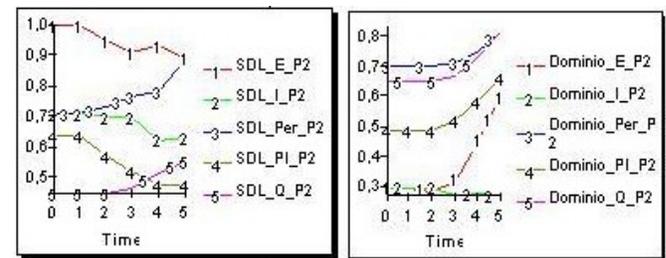


Figura 7 Importancia y Dominio de las UGT luego de Implementar A 15A41A43

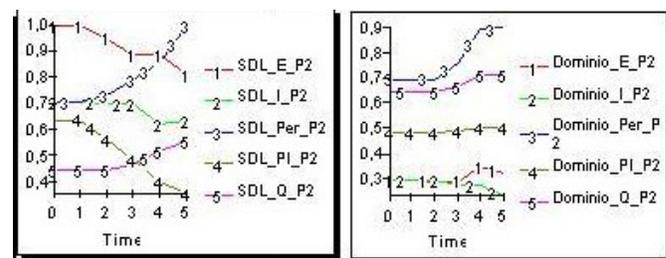


Figura 8 Importancia y Dominio de las UGT luego de Implementar A 22A23

La respuesta dinámica de las UGTs queda evidenciada en las fig 6-8 y es posible analizar entonces los proyectos de gestión tecnológica a la

luz del impacto sobre las dimensiones definidas como indicadores de su productividad y competitividad, esto es, dominio e importancia. A manera de ejemplo de análisis posibles, se presentan los siguientes comentarios.

1) Puede observarse que el primer año prácticamente no se presenta evolución, lo que se explica porque se ha considerado que los proyectos en ese período apenas alcanzan a ponerse en marcha y difícilmente logran efectos significativos. Esto se ha incluido en el modelo de dinámica de sistemas.

2) En todos los casos, la gestión estratégica (E) muestra un descenso en su importancia. Esto es consistente con las condiciones iniciales de esa UGT pues presenta una alta importancia y un bajo dominio, situación que como ya se anotó es particularmente crítica. Y ante variaciones del entorno (de las variables exógenas) su bajo dominio lleva a que no logre adaptarse favorablemente y pierda capacidad de aportar a los objetivos de la organización. Por supuesto, el descenso es mayor bajo la ejecución del proyecto 3 (A22A23), que no refuerza su estado de dominio sino por efectos sinérgicos de la dinámica de otras UGTs, Obsérvase en la fig 9 el débil aumento de dominio de esta UGT por efecto de tal proyecto. En contraste, el proyecto A15A41A43, que incide más directamente sobre el dominio como efecto de la presencia de 2 AM de la propia UGT (A41A43), presenta el mejor resultado estratégico, posicionando la gestión estratégica en el cuadrante de alta importancia y alto dominio.

3) Similar a lo que ocurre con la gestión estratégica, la planeación técnica baja en importancia ante los cambios de las variables exógenas y el resto del análisis es similar.

4) En la evolución de la gestión de pérdidas (Per), es particularmente notorio el efecto positivo de las variables exógenas, que presentan cambios capitalizables dado el alto dominio inicial: en el año 3 se presentan cambios en la regulación y específicamente en la de pérdidas y en el año 4 un cambio en un referente tecnológico, la tecnología prepago; estos son cambios que dado el alto dominio existente en esa UGT son perfectamente aprovechables en términos competitivos.

Por supuesto, el efecto es más apreciable como resultado de proyectos que inciden directamente (AM asociadas a esa UGT, proyecto A22A23) en su dominio. Ver la fig 9.

C. Posiciones iniciales y finales de las UGT en los cuadrantes de estrategias

Esta presentación evidencia el resultado estratégico de los proyectos, en términos del movimiento de las UGT entre cuadrantes: como se había anotado atrás, adquirirían máxima prioridad proyectos que desplazarán UGTs con alta importancia y bajo dominio hasta el cuadrante de alta importancia y alto dominio pues el no lograr esto último deja a la organización con una crítica fragilidad de lo que seguramente (dada su alta importancia) es parte de su tecnología “core”, que ante cambios en el entorno no tendría como adaptarse, llevando a resultados indeseables en el logro de los objetivos empresariales. En esta fig 9 se evidencia entonces la bondad del proyecto A15A41A43, que posiciona mejor la planeación estratégica (E). En la misma línea de análisis, el proyecto A15A31A41 logra también un posicionamiento aceptable de E y de Q, pero no el más deseable de Pl. Así, puede definirse el Portafolio de Proyectos Priorizados como constituido por: 1) A15A41A43; 2) A15A31A41; 3) A22A23. Ver fig 9.

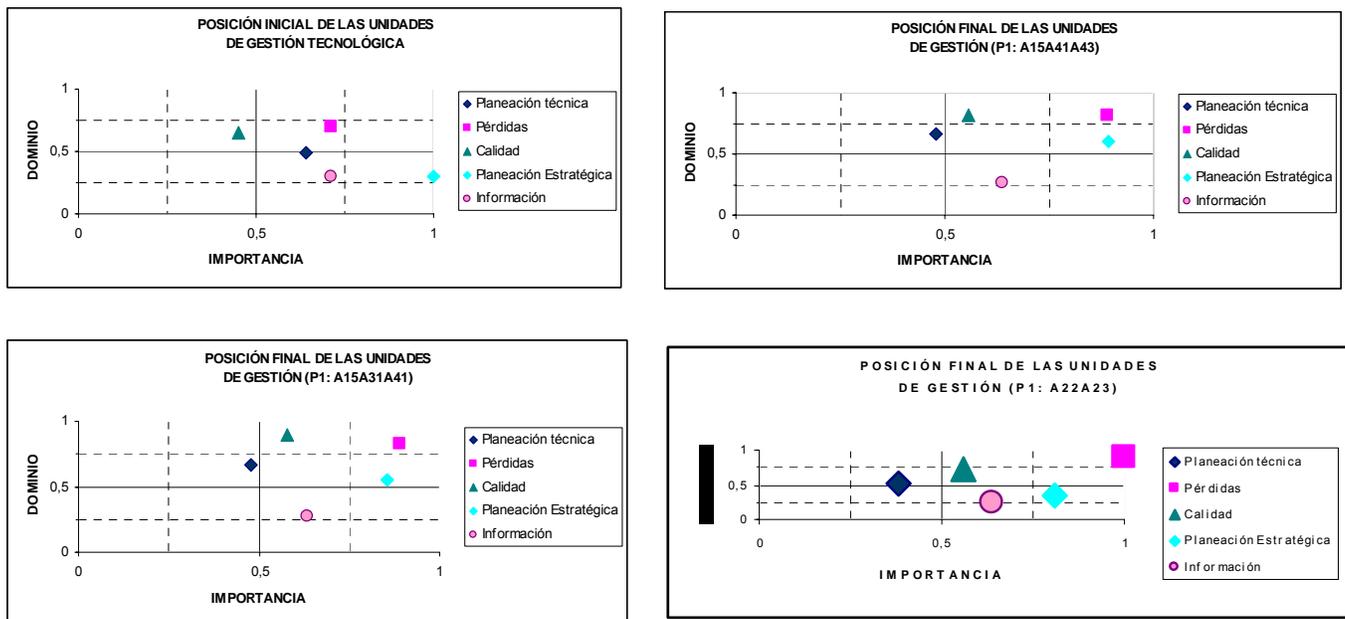


Figura 9. Posiciones iniciales y finales de las UGT en los cuadrantes de estrategias

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La metodología propuesta constituye un aporte importante hacia la solución del problema de mejoramiento de la gestión tecnológica de empresas de distribución de electricidad. Además de haberse comportado bien en la prueba de pequeña escala, lo que le da un primer grado de confiabilidad, queda ya con las herramientas computacionales necesarias para su implementación, faltando ahora su calibración con base en más casos y expertos. La identificación, caracterización y desarrollo de estas herramientas son algunas de las mayores contribuciones de este trabajo.

La metodología para el desarrollo de SMA INGENIAS, es un apoyo útil para la modelación con dinámica de sistemas.

Este prototipo puede ser escalable a un SMA con mayor número de acciones a combinar, ya que el almacenamiento de datos se realiza a través de una estructura dinámica. También es posible escalarlo a otro tipo de empresas, ya que fue concebido para las acciones de mejoramiento y sus impactos en objetivos empresariales muy generales.

Como trabajo futuro es importante considerar un criterio de selección de agregaciones óptimas que tome en cuenta la compatibilidad entre las acciones para ser agregada en el mismo proyecto.

Para mejorar el resultado que entrega el AG, debe complementarse la relación beneficio/costo seleccionada como función de medición para la eficiencia de los proyectos generados, con algunos factores de peso, que representen la racionalidad del nivel decisorio y su conocimiento y experiencia en este caso de aplicación

La metodología diseñada en la investigación para la generación del portafolio de proyectos priorizados, que parte de un conjunto de acciones de mejoramiento sobre el proceso de gestión tecnológica en las empresas de distribución eléctrica, puede ser escalable a otro tipo de empresas, porque su generalización es adecuada para maximizar ingresos, reducir egresos y satisfacer al cliente, que coincide con los objetivos más generales de cualquier empresa.

REFERENCIAS

[1] Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia “Mejoramiento de la Gestión Tecnológica de la UEN-DE de Empresas Públicas de Medellín”, Medellín 2003

[2] Villa, O. “Caracterización Tecnológica en la UEN Distribución Energía”, Planeación Distribución Eléctrica, EEPMP, Medellín 2002

[3] Molina J.D.; Palencia J.C.; Caracterización del Desempeño Tecnológico en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica, Trabajo de grado, Universidad de Antioquia, Medellín, 2002.

[4] Gómez, J.; Modelado de Sistemas Multiagente. PhD thesis, Departamento de Sistemas Informáticos y Programación. Universidad Complutense de Madrid.

[5] García-Serrano,A.; Ossowski, S. “Coordinación y Cooperación en Sistemas Distribuidos”. Proc. ATAL'96, 1996, p. 193-206

[6] Hoyos, S. Moreno, G., Pérez A., Ortega, O., Pérez, F. “Ingenias en la Agregación de Acciones de Mejoramiento de Empresas de Distribución Eléctrica”. V Encuentro de Investigación sobre Tecnologías de Información Aplicadas a la Solución de Problemas. EITI. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2004.

[7] Powersim User`s Guide. Powersim Studio Academic. 2003.

DINÁMICA CAUSAL

Por Douglas Franco, PhD

dfranco@cantv.net

UCLA, Venezuela

Resumen. Los lazos causales son herramientas de análisis usadas tradicionalmente para el diseño de políticas, en la construcción de modelos dinámicos. Esta ponencia actualiza el tema de los lazos, estableciendo criterios para su validez, dando ejemplos de sus usos y abusos.

I. INTRODUCCION

Desde fines de la década de los sesenta aparecen, en la literatura de la Dinámica de Sistemas, los lazos causales, o *Causal Loops* (CLD), como se les conoce en inglés, para representar los procesos de cambio que operan en los sistemas. Varias versiones se usan actualmente, algunas fallas han sido reportadas y sin embargo, los lazos causales siguen usándose para representar la danza del cambio en los sistemas, animando nuestra alegría de comprender mejor, al complejo mundo en que vivimos. Esta ponencia analiza las distintas versiones de esta ponderosa herramienta conceptual, usadas en las últimas cuatro décadas: para captar los modelos mentales usados por los tomadores de decisiones, para diseñar modelos representativos de diversos problemas, para integrar múltiples disciplinas y para construir las soluciones necesarias. Se presentan requisitos suficientes para su validez, bien como bases del edificio conceptual donde habitará el modelo dinámico, o como ayuda efectiva en el diseño de políticas para alcanzar, de manera robusta, los objetivos; en definitiva, para convertir en realidad nuestros deseos. A raíz del clásico modelo de crecimiento de Mercado [5], Jay Forrester introduce por primera vez, un nuevo tipo de representación agregada de interacciones causales agrupando niveles y flujos, transmitiendo cambios, desde una variable a otra, para crecer sin pausa, para desaparecer, o para controlarse. La señalización usando signos + y - , da paso a una S, de Similar o Semejante, para decir que los

cambios de la causa y el efecto ocurren en la misma dirección, o una O, de Opuesto, para decir que los cambios de la causa y del efecto ocurren en dirección contraria. Edward Roberts [13], en su libro “*Managerial Applications of System Dynamics*”, formaliza este tipo de interacciones entre causas y efectos, afirmando que al cerrar el lazo, si el número de interacciones opuestas, O, es impar, entonces el lazo balancea las variables que intervienen en él, por el contrario si hay interacciones positivas y las negativas son par o cero, entonces se favorece el crecimiento o el decaimiento. En verdad, las relaciones de estímulo e inhibición representadas en las retroalimentaciones nivel-flujo, son distintos a las representaciones de la transmisión de los cambios en los diagramas causales, en tal sentido puede hablarse de lazos retro y de lazos causal. Esta ponencia analiza el porque, las distintas versiones del CLD, *causal loop diagram*, retro y causal, son distintas, y el tipo de errores que se comete al usar indistintamente las diversas versiones, como si fuesen una misma cosa. George Richardson [12] y John Morecroft [9], han documentado supuestas contradicciones en el uso de diagramas causales, pero sus observaciones solo reflejan el abuso de la herramienta, como muestran los ejemplos presentados en sus artículos, en los que al usar inconsistentemente las relaciones causales, se obtienen resultados incoherentes.

Por el contrario, sus críticas contribuyen a reafirmar el uso de los lazos causales, ya que presentan excelentes contra ejemplos de ambigüedades en la polaridad de los lazos causales, provenientes de usar las definiciones de estímulo e inhibición de los lazos retro, en las interacciones de los diagramas de transmisión de

cambios y de conformarse con contar las relaciones opuestas, para deducir la conducta.

II. HISTORIA DE LOS LAZOS CAUSALES

A pesar de que el uso de los lazos causales aparece en la SD en la década de los setenta, su uso en la filosofía oriental ocurre varios siglos antes de cristo. Barry Richmond [11], estudia este fenómeno, explorando la convergencia entre la filosofía oriental y la occidental. Occidente esta dominado por el pensamiento causal, analizando las causas y efectos de las cosas que mueven al mundo, en las distintas disciplinas que forman la cultura. En Occidente, los razonamientos circulares son considerados viciosos: fallas en la estructura lógica del pensamiento o material para laberintos del pensamiento, como Borges [2]. Los lazos causales, considerados viciosos en el pensamiento occidental, adquieren virtudes esenciales cuando se miran desde la perspectiva del pensamiento oriental. Para los orientales hay un flujo universal llamado TAO que vincula todas las cosas, el cual solo fluye cuando el círculo se cierra, y el TAO fluye libremente a través de nuestra concepción, desempacando un mapa de causas y efectos: el mapa del tesoro, navegando hacia nuestros objetivos, como lo ilustra Siu [16]. Herman Hesse en su clásico Siddharta nos dice: *“Cuando alguien busca, su ojo solo se fija en su objetivo, pero no lo halla. Esta obsesionado con esa búsqueda y no se deja entrar, en su ser, otra cosa. Buscar significa tener un objetivo; encontrar, sin embargo, significa estar libre, no tener ningún fin”*. Los lazos causales ayudan a encontrar las soluciones, que solo se buscan en otras disciplinas, porque unifican los dos grandes modelos mentales que dominan la cultura: oriente y occidente, cuya síntesis es necesaria cuando pretendemos comprender al mundo y a los hombres que lo habitan, ya que los sistemas sociales requieren, al menos, de ambas filosofías. Siu [16] en el libro *“The Tao of Science”*, es una referencia importante para comprender las raíces orientales de los lazos causales. Con el lazo causal

pretendemos atrapar al indomable toro, inmortalizado por Picasso en su célebre Guernica, que se escapa de nuestras manos occidentales, pero que necesitamos domarlo, para preservar, no solo los flujos materiales, sino también la vida en la tierra.

III. LOS LAZOS DE RETROALIMENTACION

La idea de los lazos causales nace con la Dinámica de Sistemas, **SD**, cuando al representar las interacciones desde niveles hacia flujos, se les asigna un signo positivo, cuando la presencia del nivel estimula al flujo y un signo negativo cuando lo inhibe. *“World Dynamics”*, *“Urban Dynamics”*, de Jay Forrester (1969,1970), contienen semillas de estas representaciones.

En la estructura Nivel-Flujo, un lazo de retroalimentación es, por ejemplo, una interacción positiva entre el nivel y su entrada. La interacción positiva significa que la presencia del nivel estimula el crecimiento o inhibe el decrecimiento. Se dice que la interacción es negativa cuando el nivel inhibe la entrada o estimula la salida.

El primer tipo de interacción usado en la SD es el positivo, estímulo, o el negativo, inhibición. La presencia de la causa estimula positivamente al efecto, o la presencia de la causa inhibe negativamente al efecto. Este tipo de interacciones se suele representar mediante los signos mas (+), el estímulo, o el signo (-), la inhibición. La lectura de tales interacciones descrita por Richardson, es que la presencia de la causa añade (+) al efecto, o que la presencia de la causa resta (-) al efecto. Por ejemplo,

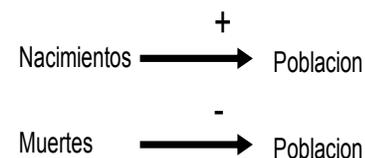


Fig. 1. Interacciones Causales

Los nacimientos añaden a la población, mientras que las muertes restan. El crecimiento poblacional es un buen ejemplo de retroalimentación positiva, donde la población estimula el flujo de

nacimientos. Otro lazo positivo, corresponden a los esfuerzos de la medicina moderna, donde una parte de la población como los médicos, se dedica a inhibir la mortalidad de los seres humanos, alargando la vida media y por consiguiente aumentando la población.

Una retroalimentación es negativa cuando el nivel estimula su salida. Como la interacción entre la población y la mortalidad, mientras mas gente haya, mas gente muere. Las retroalimentaciones son también negativas cuando el nivel inhibe la entrada al mismo, como modela Jay Forrester en World Dynamics, donde la densidad de población, causa hacinamiento, desestimulando la tasa de natalidad y por consiguiente los nacimientos. Otro ejemplo, lo representan los alumnos de una universidad, donde la acumulación de estudiantes dentro de ella, endurece los exámenes de admisión, para no sobrepasar la capacidad física de las aulas de clase.

IV. INTERACCIONES CAUSALES

En las interacciones entre causas y efectos, ocurre que cambios de la causa, ocasionan cambios en el efecto en dirección Semejante (S) o en dirección Opuesta, (O), se dice que la causa sube o baja, igual que el efecto. En la interacción semejante(S): cuando la causa sube, el efecto sube y cuando la causa baja el efecto baja. En la interacción Opuesta (O), cuando la causa sube, el efecto baja y cuando la causa baja, el efecto sube.

Una variable que no pueda subir y bajar no puede formar parte de este tipo de interacciones. Nótese, que este tipo de interacciones es distinto al +, - , ya que, por ejemplo, cuando los nacimientos bajan, la población no baja. Los nacimientos, por si solos solo pueden aumentar la población, hace falta otra variable, las muertes o las migraciones, para que la población pueda bajar.

V. VARIABLES EN LOS LAZOS CAUSALES

Este mensaje es tomado del software Vensim, de Bob Eberlain, donde nos especifica el tipo de variables que deben formar parte de los lazos causales.

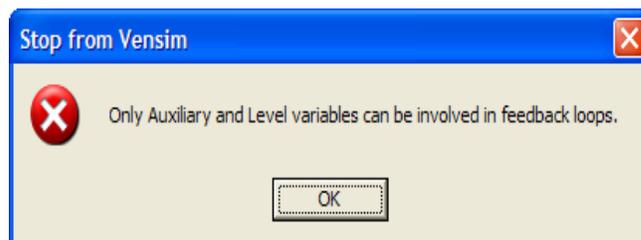


Fig. 2. Variables en Lazos

Los flujos no deben formar parte del diagrama causal, ya que en los modelos no se tienen, explícitamente, subidas y bajadas de flujos. Durante cada DT, todos los flujos son constantes.

Si usted esta seguro que un flujo va a tener mecanismos para subir y bajar, es porque dicha variable es a la vez, un nivel. Por ejemplo, la capacidad de producción de petróleo en barriles por día, es el flujo de agotamiento paulatino de yacimientos petroleros, pero los B/D declinan; es decir, disminuyen anualmente en un cierto porcentaje, por ejemplo, 24%. La capacidad de producción además de flujo, es también un nivel y se sube mediante generación: encontrando nuevos pozos, inyectando gas, vapor o agua, y declina anualmente, por la perdida de presión ocasionada por la salida de crudo del yacimiento.

Lo fundamental es que la variable realmente pueda subir o bajar, para que sus cambios, a su vez, puedan transmitirse en el mismo sentido o en sentido inverso.

VI. POLARIDAD DE LOS LAZOS CAUSALES

La polaridad de los lazos causales debe definirse en función de como se transmiten los cambios a lo largo de ellos y no simplemente contando: si las interacciones opuestas son cero o par, para calificarlos como positivos o de refuerzo, o si, por

el contrario, las interacciones opuestas son impares, en cuyo caso el lazo es negativo o de balanceo. Esta simple cuenta de interacciones opuestas no basta para determinar la polaridad de los lazos, ya que en Dinámica de Sistemas es la estructura la que determina la conducta, por lo que se hace necesario recorrer cada interacción del lazo, para establecer si elevan o bajan cada una de las variables subsiguientes, en tal sentido, un lazo es de refuerzo si devuelve un cambio de la variable, en la misma dirección y es de balanceo si reacciona en sentido contrario al cambio de la variable.

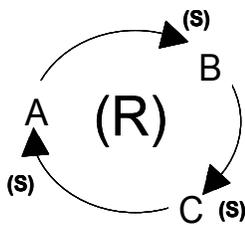


Fig. 3. Lazo Positivo Creciente

En la figura 3, Si A sube, B sube, C sube, A sube, provocando un crecimiento de A. En cambio si A baja, B baja, C baja, A baja.... provocando una caída de A. Suele decirse que este lazo es positivo o reforzante, pero su polaridad depende de la transmisión de los cambios y no de una simple cuenta de interacciones opuestas.

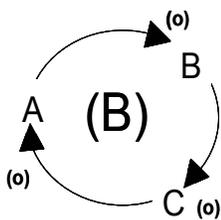


Fig. 4. Lazo Negativo

Si A sube, B baja, C baja, A sube, B baja, C baja, A sube....sube y sube, B y C bajan y bajan. Si A baja, B sube, C sube, A baja. A baja, B y C suben. Es posible que alguna de las variables del lazo no pueda subir o bajar, en cuyo caso la polaridad se interrumpe.

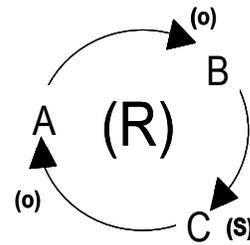


Fig. 5. Lazo Positivo Oscilante

Si A sube, B baja, C sube, A baja, B sube, C baja, A sube. A, B y C suben y bajan por efecto de las interacciones causales, pero a una subida de A, le sigue una bajada, por lo que el circuito se opone al cambio, por lo que se llaman lazos balanceadores (B), o negativos. Es decir, responden a un incremento de una de las variables del lazo, con una acción tendiente a anular dicho incremento.

VII. EL USO DE LOS ARQUETIPOS

Se ha popularizado en la SD, empaquetar lazos causales en arquetipos, los cuales pretenden ser estructuras genéricas. Sin embargo, los lazos causales fundamentalmente son herramientas de análisis y no de construcción de modelos, por lo que los lazos no son estructuras, sino análisis de la transmisión de cambios en la estructura. Los Modelos genéricos deben establecerse mediante flujos y niveles, que son los verdaderos componentes de la estructura., tal como lo hace Hines con sus Moléculas [6].

VIII. ARQUETIPOS Y CAUSALIDAD

En dinámica de sistemas, la estructura produce la conducta. Estructura hecha con niveles, flujos e interacciones. A diferencia de otras disciplinas, donde la conducta, descrita por los modos de referencia, la producen herramientas analíticas: matemáticas o estadísticas. Un caso extremo lo representa el creer que el modo de referencia debe producirse mediante funciones LOOKUP, de la variable X(t) que deseamos estudiar. Una herramienta analítica muy usada, antes de la

aparición de las computadoras, fueron las ecuaciones diferenciales, las cuales conseguían los $X(t)$, una vez construidos los modelos. Como había dificultades cuantitativas en la solución de algunas de ellas, ya que solo se usaba lápiz y papel para resolverlas, entonces se creó una fábrica de analogías, entre diferentes disciplinas, basadas en fenómenos descritos por las mismas ecuaciones diferenciales. Se pretendía, igualar fenómenos distintos, porque sus modelos matemáticos son similares. Los llamados fenómenos de transporte, estableciendo analogías entre el transporte de masa, calor y momentum, por ejemplo: Bird, Stewart, Lightfoot [1], llenaron las bibliotecas de ingeniería. La escuela de *General Systems*, ha llevado las analogías al extremo que sistemas económicos son descritos por circuitos eléctricos y sistemas sociales se analizan mediante tanques y válvulas. Una lamentable analogía, casi una travesura, fue introducida por Nobert Wiener, al ocurrírsele llamar Entropía, a la medida de la dispersión de mensajes en las comunicaciones:

SUMA($\Pi \cdot \text{Log } \Pi$), creando confusiones gigantescas, cuando las personas creen que se trata del mismo concepto de Entropía de Clasius,

INTEGRAL (dQ/T), que mide la irreversibilidad en los procesos de transporte de calor. En general, *si A es análogo a B, es porque ambos son casos particulares de un Teoría General T, de la cual A y B son casos particulares.* La teoría general T, debe expresarse en términos de interacciones entre acumulaciones materiales y de información. En principio, las analogías son peligrosas, ya que aunque dos procesos sean descritos por la misma ecuación, pueden tener diferencias estructurales que escapan a cualquier herramienta de análisis.

Los lazos causales son fundamentalmente herramientas de análisis, por lo que la analogía entre diferentes problemas, basados en empaquetamientos de lazos causales (arquetipos), no es mas que una manera, a través de la cual, las analogías se han colado hasta la Dinámica de Sistemas. Los arquetipos son espectaculares para reproducir fácilmente el modo de referencia [7],

pero el sistema puede exhibir otras conductas que escapan al arquetipo, pero que surgen de la estructura del modelo en términos de niveles y flujos [12]. La restricción en el número de páginas en esta ponencia, impiden que me extienda en el tema, pero cabe señalar que *la conducta debe ser producto de la estructura y no del análisis.*

Los tanques y flujos usados en la dinámica de sistemas, nada tienen que ver con la mecánica de los fluidos, ellos solo se usan como una caricatura de nuestro trabajo, pero un nivel puede subir, sin que la válvula de salida aumente su flujo, el cual puede, incluso depender de otros niveles. En ningún caso, las ecuaciones de la mecánica de los fluidos representan la matemática de los flujos. Hacerlo sería caer en la trampa de las analogías, creyendo que el mundo es un río, donde, a decir de Octavio Paz, *“el agua habla sin cesar y no se cansa”*.

IX. CASUALIDAD Y CAUSALIDAD

Otra trampa, mas sutil pero casi generalizada en las ciencias sociales es la de creer que dos variables tienen una relación causal, porque por casualidad ambas aumentan en la misma dirección o en dirección opuesta. Muchos creen que basta una correlación estadísticamente significativa para asegurar que una cosa, causa a la otra. Es muy importante el describir como realmente se transmiten los cambios, el representar fielmente, como se toman las decisiones, como fluye la materia y la información a través del sistema. Muchas veces incluso el modo de referencia refleja más opiniones que datos. La gente termina creyendo que A causa B, porque aparecen en el tiempo, aparentando estar ligados, cuando se trata de cosas realmente distintas, unidas por un reflejo condicionado. Burns [3] intenta, inútilmente, validar matemáticamente la relación causal, olvidándose, quizás, que los círculos causales son viciosos en esa disciplina. Separar la Causalidad de la Casualidad es un prerequisite fundamental de la relación dinámica que diferencia la superstición de la Dinámica de Sistemas, pero esta

solo puede hacerse reproduciendo como, realmente en la práctica, ocurren las cosas.

Richardson, nos traslada al lejano oeste, en el próximo ejemplo, evocando la celebre aventura en el pueblo que se negó a morir: Tombstone, Arizona.

X. TIROTEO EN EL CORRAL OK

Dos familias deciden matarse unos a otros: los Hatfields y los McCoys. Las interacciones opuestas aparentan un lazo positivo que los haría crecer, cuando en verdad, ambos están desapareciendo.

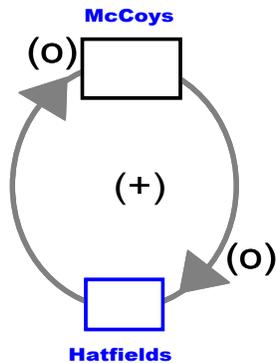


Fig. 6. “Shooting at the OK corral”

Los McCoys matan a los Hatfields, y los Hatfields vengan sus muertos, matando McCoys. Si la cantidad de McCoys crecen, por ejemplo regresan algunos familiares que vivían en Los Angeles, entonces de seguro habrá mas Hatfields muertos, y por tanto la cantidad de Hatfields disminuye. Pero si se mueren unos McCoys y por tanto disminuyen, no por ello van a crecer los Hatfields, ya que no tienen porque nacer mas Hatfields, por el hecho de que mueran McCoys. En consecuencia, la interacción no es causalmente negativa, porque al bajar la causa, no sube el efecto. Para que el conflicto entre McCoys y Hatfields pudiese tornarse en un lazo positivo, ambas interacciones tendrían que ser realmente opuestas, es decir, al subir los McCoys bajan los Hatfields, y al bajar los McCoys suben los Hatfields. Esta ultima relación no se cumple para

el tiroteo en el corral OK, para que esto ocurriera ambas familias, necesitarían un mecanismo que las hiciera crecer. Por ejemplo, si ambas familias fuesen muy ricas y contrataran pistoleros. Entonces, el ejercito McCoys crecería y el Hatfields también lo haría. Al matar McCoys, esto provocaría la ira de los McCoys, quienes contratarían a más pistoleros, para vengarse de los Hatfields. El asesinato de Hatfields, traería como consecuencia la contratación de pistoleros por parte de los McCoys. Esta descripción es la conocida espiral de violencia, bien descrita por Dyner, Jaén [4], sobre la violencia en Colombia, donde los distintos grupos comienzan a crecer, narcotraficar y matarse. Es frecuente ver a lo largo de la historia, como crecen los grupos en conflicto, cuando existen mecanismos para atraer a nuevos seguidores.

XI. EL CRECIMIENTO POBLACIONAL

Uno de los primeros lazos positivos que se usan como ejemplo, es el crecimiento poblacional.

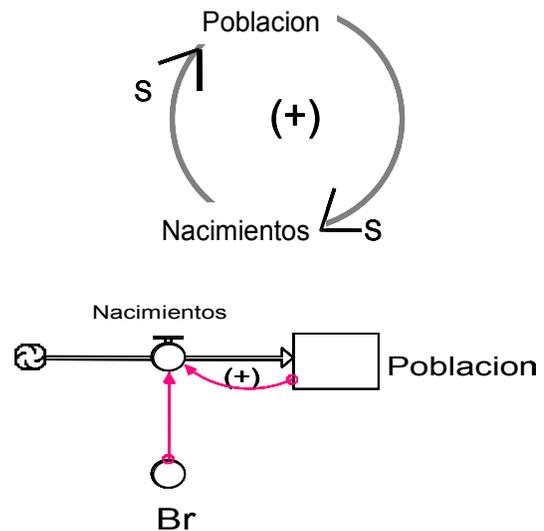


Fig. 7. El crecimiento poblacional

Ciertamente, la población crece a medida que aumentan los nacimientos. Pero, cuando bajan los

nacimientos, la población no decrece. La relación causal entre nacimientos y población no es semejante, (S), ya que ambas variables no suben o bajan en la misma dirección. En verdad, el problema es más complejo que el señalado en la Fig. 7.

Los nacimientos se producen porque las parejas toman la decisión de tener hijos, por lo que la población deseada: *población + hijos*. Mediante los nacimientos se corrige la diferencia entre la población y la población deseada. En este sentido este es un lazo de control, ya que persigue el cerrar la brecha entre los objetivos (población deseada) y los resultados (población). Lo que pasa es que en este caso los objetivos, es decir, la población deseada crece continuamente al crecer la población.

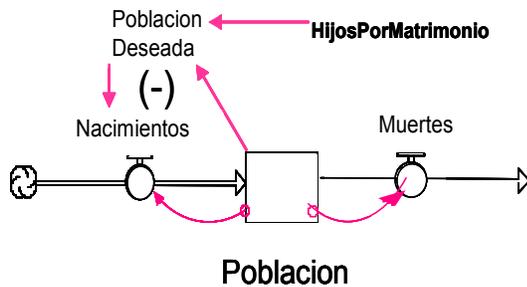


Fig. 8. Cerrando brechas poblacionales

Visto como un lazo causal, si sube la población, sube la población deseada, si baja la población baja la población deseada. A mayor población deseada, hay más nacimientos, para cerrar la brecha, a menor población deseada menor será la cantidad de nacimientos necesarios para cerrar la brecha. El lazo causal se Refuerza positivamente.

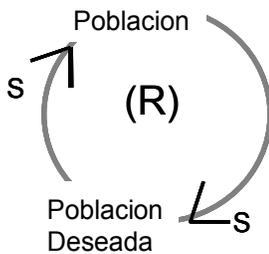


Fig. 9. Alcanzando las Metas Poblacionales

Esta visión es mas completa y muestra uno de los mecanismos fundamentales para el control poblacional, cual es, cambiar la población deseada, persuadiendo a las parejas a tener menos hijos. Una de las políticas impulsadas a nivel global, después del clásico “Dinámica Mundial” de Jay Forrester, es precisamente la estimulación de menos hijos por pareja. Aunque parezca el mismo modelo, en realidad en este caso los tomadores de decisiones: parejas, están dentro del modelo, la toma de decisiones es endógena. Nótese que tanto la población como la población deseada tienen mecanismos para subir o bajar. La población sube por los nacimientos y baja por las muertes. Los hijos por pareja, puede subir o bajar la población deseada.

Otro ejemplo de lazo positivo lo trae también Richardson [12]. La interacción entre la “*Migración Hacia la Comunidad*” y la población, no es positiva, ya que si la migración decrece, la población no decrece.

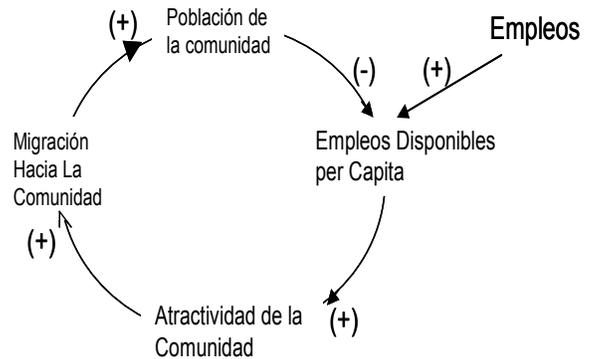


Fig. 10. La Migración Neta

La dificultad en este caso esta en la formulación de la variable migración, que se define como entrante a la comunidad, cuando en la práctica, las personas pueden entrar o salir de la comunidad. Si la migración es neta, las personas que entran a la comunidad aumentan la población, mientras que las personas que salen de la comunidad la disminuyen. La disponibilidad de empleos, regula mediante este lazo, la población de una comunidad, por lo tanto, el lazo es negativo o balanceador.

X. CONCLUSIONES

Enlazar los problemas, uniendo causas con efectos, para domarlos y ponerles la marca de “Resueltos”, es una de las tareas básicas en la Dinámica de Sistemas. Pero los problemas pueden ser distintos, aunque usemos el mismo lazo para atraparlos, por eso los arquetipos son insuficientes para diseñar soluciones robustas. Las contradicciones en la polaridad de los lazos, provienen, a veces, de creer que basta contar los signos opuestos para conocerla. La polaridad de los lazos se consigue desde sus entrañas, recorriendo cada elemento del lazo, deduciendo si bajan o suben las variables que lo forman en la cadena de transmisión de cambios. Solo si la variable inicial recibe, un empujón adicional desde el lazo, se dice que Refuerza. Dichos empujones deben funcionar en ambos sentidos, subiendo o bajando. Cuando la cadena de cambios transmitidos a través del lazo, devuelven cambios opuestos al inicial, entonces decimos que el lazo balancea los cambios. Recorrer la cadena de cambios, variable por variable en cada CLD, permite aprender: cómo el lazo fortalece o se opone a los cambios. Se privilegia el uso de moléculas, en vez de arquetipos, ya que esos últimos son más bien herramientas de análisis, que herramientas estructurales; en tal sentido, los arquetipos reproducen modos de referencia similares, pero resultan insuficientes para desplegar, la variedad de posibles conductas, presentes en la estructura de niveles y flujos.

En contraste, las moléculas de Hines construyen caminos, que se hacen al andar hacia la estructura, con pasos seguros y confiables, cantando, quizás, alegremente, la canción popularizada en la primera conferencia de Dinámica de Sistemas en Oslo [10], en 1980:

“Whenever you got an output... feed it back”

(Cuando obtengas una salida... conviértela en una entrada)

REFERENCIAS

- [1] Bird R., Stewart W., Lightfoot E. . “*Transport Phenomena*”. McGrawHill, 1966
- [2] Borges, Jorge Luis. “Las Ruinas Circulares”. www.cuidadselva.com/textos/esp/*borges/ruinas.htm
- [3] Burns James R. *Validation of Causal Loop Diagrams* Disponible desde www.pmc Corp.com
- [4] Dyner, Isaac; Jaén Sebastián. “Espirales de Violencia”. *Revista de Dinámica de Sistemas Vol. 1 Núm. 1* (Septiembre 2005)
- [5] Forrester Jay W. “Market Growth Model”. In *Collected Papers of Jay Forrester*. MIT Press. 1975
- [6] Hines, James (2003). *Molecules*. Ventana Systems, Boston, USA
- [7] Kim, D. and V. Anderson (1998). *Systems Archetypes Basics: From Story to Structure*. Waltham, MA, Pegasus Communications.
- [8] Martínez, I. J. and G. P. Richardson (2001). Best Practices in System Dynamics Modeling. *Proceedings of the 19th International Conference of the SystemDynamics Society*.
- [9] Morecroft, J. D. W. 1982. A Critical Review of Diagramming Tools for Conceptualizing Feedback System Models. *Dynamica* 8 (part 1): 20-29.
- [10] Randers, J., ed. 1980. *Elements of the System Dynamics Method*. Cambridge MA: Productivity Press.
- [11] Richmond, Barry “Easter Philosophy and System Dynamics”. *System Dynamic Group*. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, 1978
- [12] Richardson, George.”Problems with Causal Loops”. *System Dynamic Review*, vol 2. 1986
- [13] Roberts, Edward. *Managerial Applications of System Dynamics*. MIT press, 1979
- [14] Senge, Peter. “*The Fifth Discipline*”. Doubleday. 1990
- [15] Senge, Peter. “*The Dance of Change*”. Doubleday. 1994
- [16] Siu, R.G.H. (1957) *The Tao of Science: An essay of western knowledge and eastern wisdom*. The M.I.T. Press, Cambridge, Mass.

Reconocer y estimar flujos y niveles: primeros resultados de un estudio empírico

Schaffernicht, Martin
martin@utalca.cl
Universidad de Talca (Chile)

Resumen—Este artículo reporta de un estudio acerca del aprendizaje del pensamiento sistémico, específicamente relacionado con los flujos y niveles. En base de trabajos previos, se introduce la teoría de aprendizaje de Polanyi para explicar el bajo rendimiento observado por otros, y un modelo de Dreyfus y Dreyfus para proponer un conjunto de reglas y una modificación de las pruebas hasta ahora usadas para este tipo de estudio. Los resultados de una primera aplicación se presentan, sugiriendo que las nuevas pruebas y las reglas asociadas son una necesidad del novato, y reafirmando que la falta de interpretación de información gráfica es una causa de bajos resultados. Se concluye señalando debilidades de diseño actual e indicando los pasos futuros de esta línea de investigación

Índice de Términos—Pensamiento sistémico, Variable de flujo, variable de nivel

I. INTRODUCCIÓN

Desde su introducción en el texto de referencia de Forrester [5], la dinámica de sistemas puso énfasis en el carácter limitado de la mente humana: nuestro juicio intuitivo no nos guía bien en situaciones complejas. Con la experiencia de los años de práctica, aparecieron las primeras conceptualizaciones de lo que es el pensamiento del buen dinamista de sistemas [16], [17]:

- 1) pensamiento dinámico, en términos de procesos y flujos en lugar de eventos aislados
- 2) el sistema como causa:
- 3) pensamiento de bosque:
- 4) pensamiento operacional:
- 5) pensamiento de causalidad circular (ciclo cerrado)
- 6) pensamiento cuantitativo
- 7) pensamiento científico

En otros ámbitos de las disciplinas que se ocupan con los *sistemas*, también se reflexionó acerca del pensamiento sistémico [14]:

- 1) pensar en términos de redes de componentes interrelacionados;
- 2) pensamiento dinámico, que no se limita a considerar el estado momentáneo de un sistema sino que se interesa a su evolución;
- 3) pensar en términos de modelos, permaneciendo conciente de que siempre pensamos a través de un modelo de la situación real;
- 4) acción sistémica, es decir: lograr gobernar el sistema efectivamente (y no solamente pensar acerca del sistema).

Recientemente, la el pensamiento sistémico del dinamista de sistemas es visto como [20]:

- 1) comprender cómo la conducta de un sistema emerge desde la interacción de sus componentes en el tiempo;
- 2) descubrir y representar procesos de retroalimentación (positiva y negativa);
- 3) identificar flujos, niveles y sus relaciones mutuas;
- 4) reconocer demoras y comprender su impacto;
- 5) identificar relaciones no-lineales;
- 6) reconocer y desafiar las fronteras de modelos mentales y de simulación.

Encontramos a todos los conceptos importante cuya existencia la DS postula.

Desde más de 15 años se realizan estudios experimentales que involucran sistemas de una estructura de retroalimentación –aparentemente – simple, y que muestran una vez por otra que la mayoría de personas no logran detectar la presencia de retroalimentación: la llamada *misperception of feedback* [20], [10], [11], [12], [5].

Pero es más: diversos estudios de los últimos años han mostrado que personas sin formación previa tienen grandes dificultades para estimar el comportamiento de sistemas simples conformados por un nivel y un flujo. Inicialmente, Serman y Booth Sweeny ([21]) confrontaron estudiantes a un test con una tina de baño abstracto, donde se esperaba que ellos la integración gráfica del comportamiento de una variable de nivel en función de una variable de flujo.

En base de este estudio, Ossimitz ([14]) confeccionó un conjunto de pruebas con diversos formatos de representación para excluir la posibilidad de que esta representación podría causar el mal rendimiento.

Hoy en día se puede partir de la base que estas competencias deben y pueden ser aprendidas. Sin embargo, aún no se ha propuesto un modelo – por lo menos conceptual - acerca del conocimiento necesario y de cómo se aprendería. Sin tal modelo, los intentos de facilitar este aprendizaje, son limitados a un proceso de ensayo-y-error y el aprendizaje tácito de la experiencia [19].

Aquí se sugiere que el modelo de Dreyfus y Dreyfus [4], basado en la integración implícita de Polanyi, puede ser útil.

La primera sección presenta los modelos de Polanyi [15] y de Dreyfus&Dreyfus y muestra como aplicarlos al caso del pensamiento sistémico, específicamente para el tema de los flujos y los niveles.

La segunda sección propone un conjunto de reglas que subyacen toda tarea relacionada con flujos y niveles; también muestra como las pruebas de Ossimitz [14] se relacionan con estas reglas.

La tercera sección da cuenta de un primer experimento realizado con estas pruebas y ofrece una interpretación.

Finalmente la cuarta sección discute los resultados y elabora los próximos pasos.

II. MODELOS CONCEPTUALES ACERCA DEL APRENDIZAJE DE HABILIDADES

A. *La integración implícita de Polanyi*

Polanyi se preguntó cómo las personas llegamos a darnos cuenta de qué es el caso [15]. Por ejemplo, podemos –sin esfuerzo- reconocer un amigo entre las cientos de caras cuando andamos en la calle; solamente nos damos cuenta cuando ya lo hemos reconocido, y por lo tanto no sabemos cómo lo reconocemos. Podemos enunciar reglas de cómo se puede reconocer el amigo, pero estas se enuncian posteriormente y no podemos saber si el reconocer intuitivo usó estas reglas.

¿Cómo opera esto? El modelo de Polanyi presupone la existencia de un mundo real y una persona que – siendo diferente de las otras cosas de este mundo – no tiene sino su propio cuerpo para llegar a conocer este mundo. En este sentido, la persona conoce el mundo a través de los cambios que el encuentro con este mundo genera en su propio cuerpo. Por ejemplo, la cara de mi amigo refleja los rayos de luz, que luego impactan mi retina y el nervio óptico gatilla un proceso neuronal a cuyo final “veo” mi amigo. En este ejemplo, mis ojos, nervio óptico y neuronas actúan como un *término proximal*, a través del cual *atiendo al término distal* (mi amigo). Percibimos el mundo atendiendo a términos distales a través de términos proximales.

Nos damos cuenta solamente del término distal, lo que Polanyi llamó la conciencia focal. El término proximal queda relegado a la conciencia subsidiaria, a la cual no tenemos acceso consciente, salvo cuando dirigimos nuestra atención a ella. Pero en este caso, deja de ser proximal y aparece como distal.

Por ejemplo, un violinista que interpreta una pieza de Paganini debe enfocarse en la música y no en sus dedos. Pensar en sus dedos romperá la transparencia y cometerá errores (esto es lo que nos pasa cuando queremos mostrar algo que sabemos hacer tan bien a nuestros papás o amigos: justamente en este momento fallamos).

Naturalmente nuestro cuerpo recibe un sinnúmero de estímulos sensoriales en cada

instante, y no solamente de “afuera”, también sobre sí mismo. Ello significa que debe integrar y privilegiar los asuntos más importantes; a veces puede ser un amigo, otras veces un peligro. No necesitamos esforzarnos para hacer esto, ni podemos evitar hacerlo: por mucho que Usted lo intente, no logrará *no* reconocer a su amigo. Se ha mostrado empíricamente que ilusiones ópticas persisten a pesar de la resolución de los sujetos de no dejarse engañar ([13]:170).

Somos incluso capaces de adaptar el aparato de integración (próximo) a cambios. Si se ponen a un sujeto lentes que invierten arriba y abajo, en pocos días el sujeto volverá a manejar en toda seguridad. No necesita concentrarse en ver todo al revés: su sistema nervioso ha aprendido a integrar los estímulos de manera a poder manejar correctamente. Ello no es fruto de la reflexión, sino que de los intentos repetidos de manejar con las lentes puestas. Además, después de poco tiempo más, el sujeto habrá olvidado que tiene estas lentes puestas.

Polanyi propuso que no solamente nuestra conciencia es *dirigida* hacia fuera, sino que *se mueve* hacia fuera. Hay muchos ejemplos cotidianos por ello: una persona que toma clase de conducción para aprender a manejar un automóvil, se concentrará inicialmente al volante para no caerse fuera de la calle o ruta: atiende desde sus manos hacia el manubrio. El automovilista experimentado siente la textura del pavimento a través del volante (y todo el automóvil), casi como el auto fuera parte de su propio cuerpo. Lo mismo nos pasa al escribir con un lápiz: sentimos la textura del papel. Y lo que es más: cuando andamos en la calle, nuestros pies pisan la vereda (el suelo) – sentimos; no sentimos que nuestros pies pisan los calcetines. Se puede decir que *incorporamos* a nuestras herramientas progresivamente.

Nuestra vida normal es un fluir entre percepción y acción, donde con la experiencia desarrollamos a ambos lados: aprendemos a percibir a través de la integración implícita, ganando conciencia focal del término distal atendiendo desde el término proximal, del cual solamente tenemos conciencia subsidiaria. El término inglés de *connoisseurship*

es difícil de expresar en español. Del lado de la acción aprendemos habilidades (*skills* en inglés), un conocer-en-acción que nos habilita a realizar complejos de acciones que también requieren de la integración implícita.

B. Usando el modelo de Polanyi en DdS

El experto en dinámica de sistemas “ve” bucles de retroalimentación y otros componentes básicos: se ha acostumbrado a esta lente especial. En pruebas como las de la tina de baño ([21], [14]) o de manejo de recursos naturales ([12]), actuará como *connoisseur*. También sabrá intuitivamente qué hacer o qué cuidar en la acción: tiene las *habilidades* y ha incorporado el lenguaje sistémico.

Visto bajo este ángulo aparece que los resultados pobres obtenidos por los sujetos de pruebas experimentales ([21], [3], [11], [10], [6], [14]) no son sorprendentes. Estos sujetos aún no han aprendidos a realizar la integración implícita necesaria; probablemente son capaces de manejar su tina de baño sin dificultades, pero estas habilidades pertenecen al ámbito de “tomarse un baño”, y cuando se presenta la tarea de prueba en abstracto, lo que antes fue un término proximal, de repente deviene distal. les va entonces como al violinista con Paganini (más arriba).

Una vez que se ha aceptado la idea de que el adulto sin formación previa no es un pensador sistémico natural, la pregunta es ¿cómo podemos ayudarles a mejorar sus habilidades de pensamiento sistémico?

De acuerdo a Polanyi, hay que aprender el término proximal, para poder realizar la integración implícita. Esto se puede hacer de diferentes maneras. El aprendiz puede

- enfocarse al término distal, dejando los elementos de la integración en el ámbito de lo tácito y acostumbrarse sin jamás dirigir su atención a ellos;
- enfocarse en el término proximal, intentando de representarse explícitamente los elementos de la integración, así como la manera de integrarlos.

Si el aprendiz dispone de experiencia personal previa, es ventajoso preferir la segunda posibilidad, en combinación con nuevas experiencias prácticas

que sostienen el movimiento de la integración. En este proceso, es importante contar con un maestro quien observar e imitar. El aprendiz podrá entonces, de modo figurativo, entrar en la mente del maestro, produciendo de esta manera la integración requerida. Durante este periodo, el aprendiz debe confiar en el maestro y seguir sus indicaciones sin poder comprender su significado o justificación.

El proceso de aprendizaje deberá iterar entre las fases implícita y explícita. Ya que el término próximal es a-crítico (no puede ser sometido a crítica), enfocar la atención en él puede ayudar a mejorar el proceso. Sin embargo, a continuación, los elementos mejorados deben ser reincorporado al ámbito tácito. El proceso puede ser representado como una espiral. Situaciones percibidas implícitamente permanecen un todo difuso, pero el análisis puede discernir sus elementos. Se crea así un todo articulado, un modelo mental revelado. Su reintegración en lo tácito restablece la normalidad, pero con un proceso de integración mejorado.

C. El modelo de Dreyfus y Dreyfus

Dreyfus y Dreyfus [4] desarrollaron un enfoque de enseñanza muy compatible con el modelo de Polanyi [13]. Se asume que el pensamiento sistémico es un conocimiento práctico, una habilidad (“skill”). Se establece luego que deben conjugarse dos grupos de habilidades, a saber: reconocer la situación y determinar el curso de acción. Según este modelo, los este aprendizaje se realiza por etapas que llevan el estudiante desde un nivel de “novato” hasta el de “experto”.

Para nuestros propósitos, nos limitamos a los tres primeros niveles: principiantes necesitan reglas abstractas acerca de cómo reconocer la situación y cómo planificar su acción (anticipar su comportamiento).

El “novato” recién se inicia en el campo. Puesto que carece de experiencias previas y competencias, requiere de dos cuerpos de conocimiento para actuar frente a situaciones:

- los atributos de las situaciones a las que se debe prestar atención;
- reglas generales que se refieren a estos atributos –

independientes del contexto particular- según las cuales actuar.

Por ejemplo, un atributo de un vehículo puede ser la velocidad que indica el tacómetro, y una regla puede ser si la velocidad del vehículo excede la velocidad máxima permitida, entonces desacelerar. En diseñador instruccional debe entonces estar en condiciones de descomponer las situaciones en atributos y reglas.

Las actividades típicas del estudiante son: memorización, atender a instrucción, presenciar demostraciones de actuación, práctica en situaciones sencillas (donde puede ejecutar las reglas).

El “avanzado”: con la experiencia vivida en la primera fase, el estudiante elabora un repertorio de situaciones conocidas. Entre estas situaciones, empieza a reconocer similitudes que le conducen a distinguir aspectos situacionales (específicos al contexto, no generales) e integrarlos a su razonamiento. Estos aspectos escapan una descripción y al análisis en abstracto y sólo pueden ser percibido holísticamente, por una persona con la requerida sensibilidad (que viene desde las experiencias previas). Estos aspectos requieren tener en mente la situación entera, cosa que no fue posible con los atributos de la fase 1 (que enfoca la mente a un atributo aislado). Puesto que se trata de atributos difíciles de describir y de formalizar, ahora no se pueden dar reglas precisas, pero se dan directrices. El docente intentará de fomentar la comparación de las situaciones, de modo a facilitar el reconocimiento de los aspectos en sus estudiantes. Las actividades típicas del estudiante son: resolución de problemas y práctica con directrices y estrategias.

El “competente”: desde el conjunto creciente de atributos y aspectos, el estudiante se ve confrontado a distinguir prioridades, de establecer ponderaciones y matices. Ahora aprende a tener una perspectiva, lo que incluye tener objetivos y planes que orienten la actuación.

El estudiante es ahora capaz de establecer su propio criterio en cuanto a que aspecto y que atributo a tomar en consideración, y con qué importancia relativa, de manera concientemente reflexionada y

analítica. También el alumno desarrolla un sentido de apropiación de las situaciones y de su propia reflexión (ya que no es solamente la aplicación de reglas y directrices que otros le han dado). Las actividades típicas del estudiante son: estudios de caso, resolución de problemas avanzados.

III. INVESTIGACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN DE NOVATOS EN AVANZADOS

A. Hipótesis

El modelo conceptual propuesto aquí se sustenta en la suposición de que el pensamiento sistémico es una habilidad cuyo aprendizaje queda bien descrito de esta manera. Si este modelo es útil, entonces novatos que reciben las reglas adecuadas, tendrán una ventaja sobre otros novatos y, confrontados a un mismo conjunto de pruebas, obtendrán mejores resultados.

Bajo la premisa de que los cursos de DS no van más allá que la transformación de novatos en avanzados, nos limitaremos a indagar esta transición. Adicionalmente, nos limitamos a un aspecto del pensamiento sistémico, a saber el reconocer y comprender flujos y niveles.

Ossimitz [14] diseñó y usó un conjunto de pruebas elaboradas desde las investigaciones originales de Booth Sweeny y Sterman [21]. Después de obtener resultados empíricos aún peores que lo que Booth Sweeny y Sterman reportaron, Kainz y Ossimitz [7] realizaron otro estudio en base de las pruebas, en el cual se les dio a los sujetos una introducción de 90 minutos. Este estudio mostró un efecto positivo de la introducción. Sin embargo, su versión de las pruebas no contuvo las reglas, por lo cual para el presente estudio, se han elaborado un conjunto de reglas y una adaptación de los test originales.

Se formulan tres hipótesis:

1. si los novatos requieren de reglas explícitas y libre de contextualización, entonces los sujetos de este test deberían lograr un rendimiento superior a los sujetos de los tests previos [7], [21];

2. si la fase de novato es necesaria para devenir avanzado, entonces los sujetos que han pasado por la transformación deben lograr un rendimiento superior al de novatos (con reglas), o requerir menos esfuerzo/tiempo para lograr un nivel comparable;
3. sujetos que hayan logrado la transformación deberían generar modelos mejores.

En la actualidad, se esta trabajando en el contexto de la primera hipótesis. Los tests han sido adaptadas en este sentido (ver anexo), y a continuación se presentan los resultados.

B. Procedimiento

El experimento se hizo con estudiantes de un curso de dinámica de sistemas (ingeniería comercial, cuarto año pregrado). Después de una sesión de 75 minutos de explicación concerniente los flujos y niveles, enfrentaron las pruebas. En las pruebas, se solicita primero clasificar las variables clave según si son niveles o flujos. Esto es un elemento que supuestamente activa las reglas asociadas a cada tipo de variable. Luego se debe responder a una situación donde es necesario apreciar correctamente las relaciones entre las variables (de flujo y de nivel). Para ambas partes, las reglas declaradas están disponibles en una hoja aparte que el sujeto puede consultar si así lo desea.

Participaron 8 individuos con las siguientes características.

TABLA 1 - PARTICIPANTES

Sujeto	Edad	F	M	Gráf.	Mat.	Estad.
1	27		1	4	3	3
2	31		1	3	4	3
3	23	1		3	4	4
4			1	3	4	3
5	26		1	4	4	3
6	25	1		3	3	1
7	24		1	3	4	4
8	24		1	3	3	4
Promedio	26			3,25	3,625	3,125
Con				3,00	4,00	3,50
Sin				3,33	3,50	3,00

Se pidió a cada uno de indicar, en una escala de 1-5, sus competencias para interpretar gráficos (Gráf.), de matemáticas (Mat.) y estadística (Estad.). Los sujetos en letras cursivas fueron quienes usaron la hoja de reglas (ver en próxima sección). Los promedios de su auto-apreciación indican que no hubo diferencia sistemática a este nivel.

C. Las pruebas

En términos de la teoría de Polanyi y del trabajo de Dreyfus y Dreyfus, es importante distinguir entre el acto de reconocer algo (flujos y niveles) y de apreciar sus valores futuros. Se presenta entonces un conjunto de reglas diferentes para cada acto. Se proponen las siguientes reglas generales para distinguir flujos y niveles (RGD):

1. Si se refiere a una cantidad que se puede medir en un momento determinado, entonces es un nivel.
2. Si se refiere a una cantidad que se ha movido o cambiado durante un periodo, entonces es un flujo.

Las reglas generales para relacionar flujos y niveles (RGR) son:

1. Cuando el flujo es nulo, el nivel es constante
2. Cuando el flujo es positivo y constante, el nivel aumenta linealmente
3. Cuando el flujo es negativo y constante, el nivel disminuye linealmente
4. Cuando el flujo es positivo y crece constantemente, el nivel crece exponencialmente
5. Cuando el flujo es negativo y disminuye constantemente, el nivel disminuye exponencialmente
6. Cuando el flujo cambia entre positivo y negativo, la pendiente del cambio de nivel cambia entre positivo y negativo (máximo o mínimo local).

Para cada uno de los tests, se especifica un conjunto de reglas adaptadas al modo de presentación y la tarea involucrada. Las respuestas indicadas por los sujetos, permiten evaluar si las diferentes reglas se han aplicadas.

Los sujetos se enfrentan a seis tareas, que se detallan a continuación. Junto con las reglas respectivas, se indica la proporción de respuestas

correctas y la proporción de sujetos que usaron la hoja de reglas optativa.

1) Fantasía

A. La naturaleza de la prueba

En esta prueba, los participantes se enfrentan a la siguiente situación:

“En el país FANTASIA, se habla de “déficit fiscal” cuando el monto que el estado gasta durante un año excede los ingresos del estado para el mismo año:

$$\text{déficit fiscal}_{\text{Año}} = \text{ingresos}_{\text{Año}} - \text{egresos}_{\text{Año}}$$

La deuda fiscal es el monto acumulado que el estado debe en un determinado momento a sus acreedores.”

Se hace una serie de afirmaciones acerca de los efectos del déficit fiscal de un año sobre la deuda, de forma textual. Se debe indicar si “déficit fiscal” y “deuda fiscal” son flujos o niveles y luego el valor de verdad de cada una de ellas.

Analice el siguiente caso:

En el año 2002, el deficit fiscal ha sido de US\$60.000.000.000; en 2003, fue de US\$40.000.000.000.

Por favor, lea las siguientes afirmaciones e indica si son verdaderas, falsas, indecidibles (o si no sabe):

1. “En 2003, US\$20.000.000.000 de la deuda fiscal han sido reembolsados
2. El Ministerio de Finanzas logró reducir la deuda fiscal de un tercio entre 2002 y 2003
3. Si el Ministerio logra reducir el déficit fiscal a cero (presupuesto equilibrado), entonces FANTASIA ya no tendrá deudas fiscales.
4. La deuda fiscal de FANTASIA creció en 2002 y en 2003.
5. Si el Ministerio logra reducir el déficit fiscal a cero (presupuesto equilibrado), entonces FANTASIA esta en el punto máximo de su deuda fiscal.
6. Una reducción del déficit fiscal significa automáticamente una reducción de la deuda fiscal.”

B. Reglas específicas para la distinción

- 1) El “déficit fiscal” es un flujo.
- 2) La “deuda fiscal” es un nivel.

C. Reglas específicas para relacionar

Relativas al contexto (contenido)

- 1) Cuando los egresos de un año superan los ingresos, el flujo neto de año es negativo y se habla de un déficit fiscal. (Preguntas 1, 2, 4 y 6)
- 2) Cuando los egresos de un año igualan los ingresos, el flujo neto de año es nulo y no hay ni déficit ni superávit fiscal. (Pregunta 3)
- 3) La deuda fiscal es el cúmulo de todos los flujos anteriores. (Preguntas 1-6)
- 4) El flujo neto puede cambiar la deuda fiscal. (Preguntas 1, 3, 4, 5 y 6)

Relativas a la situación subyacente:

- 5) Cuando el flujo neto es negativo, la deuda crece. (RGR 2) (Preguntas 1, 2, 4 y 6)
- 6) Cuando el flujo neto es nulo, la deuda no cambia. (RGR 1) (Pregunta 3)
- 7) Cuando de un año al siguiente, el flujo cambia de negativo a positivo, entonces la deuda registra un máximo (local). (RGR 6) (Pregunta 5)

2) Personas en la tienda

A. La naturaleza de la prueba

Se muestra la línea en el tiempo de la cantidad de personas que entran y que salen en y de una tienda por minuto.

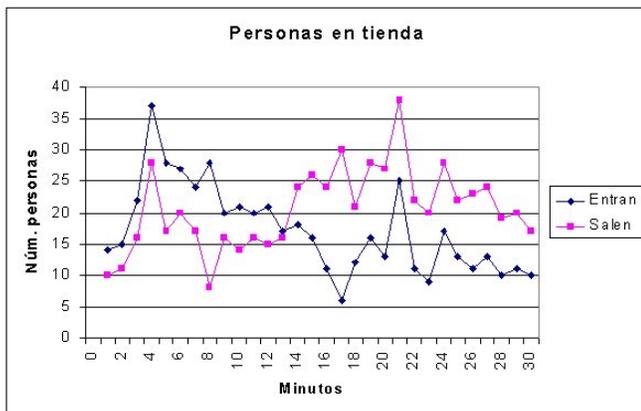


Fig. 1

Se debe responder a varias preguntas

1. ¿Cómo puede usar el gráfico de manera cómoda (sin cálculos, simplemente en base del gráfico) para determinar cuando la mayor cantidad de personas estuvo en la tienda. Explique:
2. ¿En qué minuto estuvo la mayor cantidad de personas en la tienda?:
3. ¿En qué minuto salió la mayor cantidad de personas de la tienda?:
4. De acuerdo a qué criterio Ud. puede decidir si en algún minuto la cantidad de personas en la tienda aumenta o disminuye? Explique:

B. Reglas específicas para la distinción

- 3) Las “personas que entran” son un flujo.
- 4) Las “personas que salen” son un flujo.

C. Reglas específicas para relacionar

Relativas al contexto de la tarea:

- 1) Cuando la línea del flujo entrante es arriba de la línea del flujo de salida, entonces el flujo entrante es mayor al flujo de salida (Pregunta 1)
- 2) Cuando la línea del flujo entrante es abajo de la línea del flujo de salida, entonces el flujo entrante es menor al flujo de salida (Preguntas 1 y 3)
- 3) Cuando se cruzan las líneas de los flujos de entrada y de salida, entonces el flujo de entrada es igual al flujo de salida (Pregunta 1)
- 4) Cuando el flujo entrante es mayor al flujo de salida, entonces el flujo neto es positivo (Pregunta 4)
- 5) Cuando el flujo entrante es menor al flujo de salida, entonces el flujo neto es negativo (Preguntas 3 y 4)
- 6) Cuando el flujo entrante es menor al flujo de salida, entonces el flujo neto es cero (Pregunta 4)

Relativas a la situación subyacente:

- 7) Cuando el flujo de entrada es más grande que el flujo de salida, el nivel aumenta. (RGR 2) (Pregunta 4)
- 8) Cuando el flujo de entrada es más pequeño que el flujo de salida, el nivel disminuye. (RGR 3) (Preguntas 3 y 4)
- 9) Cuando el flujo neto es cero, el nivel no cambia. (RGR 1) (Preguntas 2 y 4)
- 10) Cuando el flujo neto cambia de positivo a negativo, el nivel registra un máximo local. (RGR 6) (Preguntas 1 y 2)

3) *Tina de baño 1*

A. *La naturaleza de la prueba*

Se presenta la línea en el tiempo del flujo neto de agua en una tina de baño. Los flujos son constantes al interior de cada periodo.

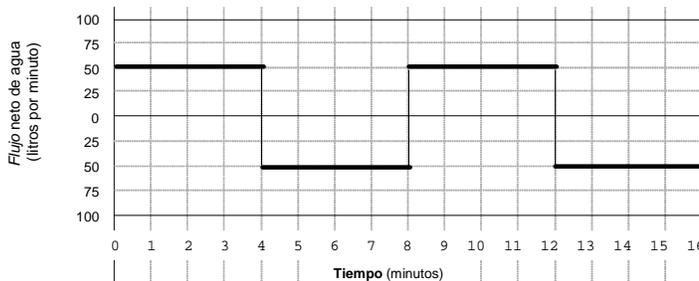


Fig. 2

Se debe dibujar la línea en el tiempo de la cantidad de agua en la tina.

B. *Reglas específicas para la distinción*

- 1) “Flujo neto de agua” es un flujo.
- 2) “Agua en la tina” es un nivel.

C. *Reglas específicas para relacionar*

Relativas al contexto (contenido) de la tarea:

- 1) Cuando la línea del flujo es encima de cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es positivo.
- 2) Cuando la línea del flujo es bajo de cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es negativo.

Relativas a la situación subyacente:

- 3) Cuando el flujo neto es positivo, el nivel aumenta. (RGR 2)
- 4) Cuando el flujo neto es negativo, el nivel disminuye. (RGR 3)

Relativas al contexto gráfico:

- 5) La pendiente de la línea del nivel corresponde a la distancia del flujo neto de cero.
- 6) Si el flujo neto es constante durante el periodo, entonces la línea del nivel es lineal (pendiente constante).
- 7) Al inicio de cada periodo, la línea del nivel empieza en el punto donde terminó en el

periodo previo; al inicio del primer periodo, está señalado por un punto.

Relativas a la situación subyacente:

- 8) Cuando el flujo neto cambia de positivo a negativo, el nivel registra un máximo local.
- 9) Cuando el flujo neto cambia de negativo a positivo, el nivel registra un mínimo local.

4) *Tina de baño 2*

D. *La naturaleza de la prueba*

Se presenta la línea en el tiempo del flujo neto de agua en una tina de baño. Los flujos cambian al interior de cada periodo.

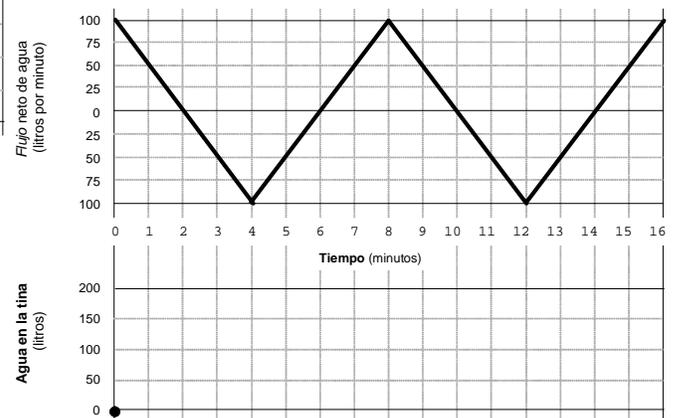


Fig. 3

Se debe dibujar la línea en el tiempo de la cantidad de agua en la tina.

E. *Reglas específicas para la distinción*

- 1) “Flujo neto de agua” es un flujo.
- 2) “Agua en la tina” es un nivel.

F. *Reglas específicas para relacionar*

Relativas al contexto (contenido) de la tarea:

- 1) Cuando la línea del flujo es encima de cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es positivo.
- 2) Cuando la línea del flujo es bajo de cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es negativo.

Relativas a la situación subyacente:

- 3) Cuando el flujo neto es positivo, el nivel aumenta. (RGR 2)
- 4) Cuando el flujo neto es negativo, el nivel disminuye. (RGR 3)

- 5) La pendiente de la línea del nivel corresponde a la distancia del flujo neto de cero. (RGR 1)
- 6) Cuando el flujo es positivo y crece constantemente, el nivel crece exponencialmente. (RGR 4)
- 7) Cuando el flujo es negativo y disminuye constantemente, el nivel disminuye exponencialmente. (RGR 5)

Relativas al contexto gráfico:

- 8) Al inicio de cada periodo, la línea del nivel empieza en el punto donde terminó en el periodo previo; al inicio del primer periodo, está señalado por un punto.
- 9) El cambio del nivel durante un periodo corresponde a la distancia del flujo neto de cero durante el mismo periodo

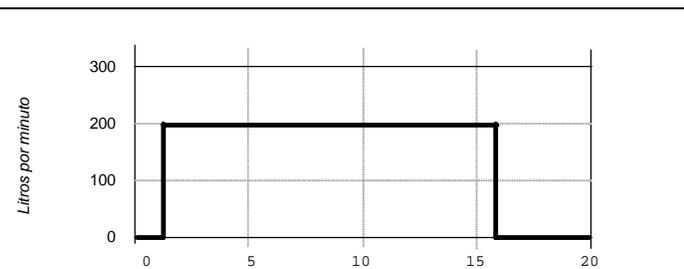
Relativas a la situación subyacente:

- 10) Cuando el flujo neto cambia de positivo a negativo, el nivel registra un máximo local. (RGR 6)
- 11) Cuando el flujo neto cambia de negativo a positivo, el nivel registra un mínimo local. (RGR 6)

5) Estanque de petróleo

A. La naturaleza de la prueba

Se muestra la línea en el tiempo del flujo neto de petróleo hacia un estanque, junto con un conjunto de afirmaciones acerca de la cantidad de petróleo en el estanque.



Se debe indicar su valor de verdad (verdad, falso, indecible, no se).

- 1. El estanque se ha llenado hasta la altura de 200 cm
- 2. El proceso de llenado duró 16 minutos
- 3. En total, 200 litros se han depositado en el estanque.
- 4. Después de 16 minutos, 200 litros se dejaron salir del estanque.
- 5. El proceso de llenado duró 16 minutos
- 6. La capacidad máxima del estanque es de 200 litros
- 7. Después de 16 minutos, 3000 litros o más están en el estanque.

B. Reglas específicas para la distinción

- 1) “Litros por minuto” es un flujo.

C. Reglas específicas para relacionar

Relativas al contexto (contenido) de la tarea:

- 1) Cuando la línea del flujo es encima de cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es positivo. (Preguntas 3 y 6)
- 2) Cuando la línea del flujo es igual a cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es cero. (Preguntas 3, 4 y 6)

Relativas a la situación subyacente:

- 3) Cuando el flujo neto es positivo, el nivel aumenta. (RGR 2) (Preguntas 3 y 6)
- 4) Cuando el flujo neto es negativo, el nivel disminuye. (RGR 3) (Preguntas 3, 4 y 6)

Relativas al contexto gráfico:

- 5) Si el flujo neto es constante durante el periodo, entonces la línea del nivel es lineal (pendiente constante). (Preguntas 3, 4 y 6)
- 6) El cambio del nivel durante un periodo corresponde a la distancia del flujo neto de cero durante el mismo periodo. (Preguntas 3, 4 y 6)

Relativas a la situación subyacente:

- 7) Cuando el flujo neto cambia de cero a positivo, el nivel empieza a crecer. (consecuencia de RGR2 y RGR 3) (Preguntas 3 y 6)
- 8) Cuando el flujo neto cambia de positivo a cero, el nivel deja de crecer. (consecuencia de RGR2 y RGR 3) (Preguntas 3 y 6)

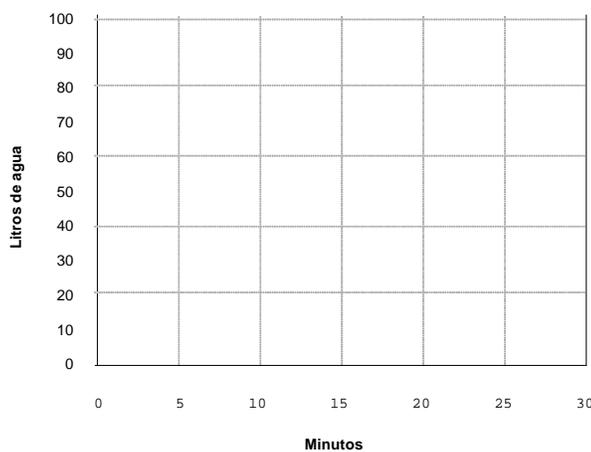
6) *El baño del señor Pérez*

A. *La naturaleza de la prueba*

Se describe textualmente una secuencia de eventos que intervienen en el flujo neto de agua hacia una tina de baño.

A exactamente 07:00, el señor Pérez abre la llave de agua de su tina vacía. Empiezan a entrar 14 litros por minuto. A 07:04, se da cuenta de que olvidó poner el tapón (que deja salir 9 litros por minuto). Lo pone, y sigue llenando la tina hasta las 07:09 (momento cuando cierra la llave de agua). Disfruta del baño hasta las 07:15; luego sale y saca el tapón para dejar el agua salir.

Dibuje el comportamiento aproximado de la cantidad de agua (en litros) en la tina sobre el periodo de tiempo descrito.



B. *Reglas específicas para la distinción*

- 1) La “cantidad de agua en la tina” es un nivel.
- 2) “Litros por minuto” se refiere a flujos.

C. *Reglas específicas para relacionar*

Relativas al contexto (contenido) de la tarea y su situación subyacente:

- 1) Cuando el flujo neto es positivo, el nivel aumenta.
- 2) Cuando el flujo neto es negativo, el nivel disminuye.

Relativas al contexto gráfico:

- 3) La pendiente de la línea del nivel corresponde a la distancia del flujo neto de cero.
- 4) Si el flujo neto es constante durante el periodo, entonces la línea del nivel es lineal (pendiente constante).

- 5) Al inicio de cada periodo, la línea del nivel empieza en el punto donde terminó en el periodo previo; al inicio del primer periodo, está señalado por un punto.
- 6) El cambio del nivel durante un periodo corresponde a la distancia del flujo neto de cero durante el mismo periodo

Relativas a la situación subyacente:

- 7) Cuando el flujo neto cambia de positivo a negativo, el nivel registra un máximo local.
- 8) Cuando el flujo neto cambia de positivo a cero, el nivel deja de crecer.

VI. DISCUSIÓN

1) *Acerca del uso de las hojas de reglas y su relación con el rendimiento*

Para las tareas de reconocimiento, las hojas de reglas no se usaron, lo que revela la confianza de los sujetos en poder resolver esta parte sin ayuda. En las tareas de reflexión, las hojas de reglas se usaron con los siguientes porcentajes:

TABLA II – USO DE LAS HOJA DE REGLAS

Prueba	Ø	Sujetos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Fantasia	29%	0	1	1	1	0	0	0	0
Personas en tienda	25%	0	0	1	1	0	0	0	0
Tina 1	50%	0	0	1	1	1	0	0	0
Tina 2	25%	0	0	1	1	0	0	0	0
Estanque	25%	0	0	1	1	0	0	0	0
Baño señor Pérez	25%	0	0	1	1	0	0	0	0

4 de los 8 participantes no usaron la hoja de reglas en absoluto, 2 la usaron en cada una de las tareas y 2 la usaron para una o dos tareas.

Este patrón de comportamiento no permite hablar de un aprendizaje que habría ocurrido durante los test; más bien revela algo sobre la actitud de los respondientes frente a la tareas; sin embargo, no es posible afirmar si esto se debe a su estimación optimista o pesimista de sus competencias frente a la tarea, o del hecho que tomaron en serio las tareas no.

2) *Acerca del rendimiento*

Las elecciones de los diferentes sujetos se han evaluadas para cada prueba de manera separada, luego se agregaron para las “reglas generales”. Antes de entrar en los resultados detalladas, los resultados generales permiten hacer varias observaciones interesantes.

Como lo muestra el promedio general, los resultados tendieron a mejorarse a lo largo de las pruebas. Ello fue interrumpido por la “Tina 2”: aparentemente las consecuencias no lineales del flujo cambiante para el nivel constituyeron un desafío superior para los participantes. No necesariamente ha ocurrido un aprendizaje aquí, ya que las últimas tareas podrían haber sido más fácil de responder: solamente una nueva experimentación con otra secuencia de pruebas permitiría separar estas dos explicaciones posibles. Adicionalmente, podría ser que una secuencia de 6 pruebas, aplicadas en una sesión, es demasiado poco para gatillar aprendizajes medibles de esta manera.

En conjunto con el hecho de que ninguno de los participantes cambió de “uso de hoja de reglas” a “sin uso de hoja de reglas”, se llega a la conclusión de que posiblemente los participantes no tuvieron el tiempo de razonar sobre su estrategia de respuesta ni de cambiarla. Se presenta la pregunta de si las mismas pruebas, aplicadas una a la vez y con revisión y corrección entre cada par, producirían otros resultados. Esto queda sujeto a un próximo estudio.

También llama la atención que las diferentes tareas – diseñadas para variar la forma de presentación (para ver si esta forma influye en los resultados) – no cubre el espacio de las reglas generales de forma homogénea. Queda entonces planteado el desafío de estabilizar un conjunto de criterios para el diseño de este tipo de pruebas (en base del conjunto de reglas generales) y revisar las pruebas en esta base. También el conjunto de pruebas podría devenir más amplio de esta manera.

Se aprecia que con dos excepciones – las tareas que requieren mayor competencia en interpretación de gráficos – ha sido ventajoso usar las hojas de reglas. Ello puede significar que las reglas específicas de estas dos pruebas presentan deficiencias o son más difícil de interpretar, o que la interpretación de gráficos es cognitivamente más difícil que la interpretación de información textual.

Por último, en rendimiento global ha sido alrededor de 50% de éxito, lo que parece bajo. No cabe comparar estos indicadores con los de Ossimitz [14], Kainz y Ossimitz [7] o Booth Sweeny y Sterman [21], ya que ellos no se basaron en las reglas. Sin embargo, surge la pregunta porqué los participantes no llegaron a un rendimiento mayor. Puede ser una explicación que el seguir reglas es en sí una tarea desafiante.

TABLA III – RESULTADOS PARA LAS REGLAS GENERALES

Rendimiento en reglas generales	Fantasia	Personas en tienda	Tina 1	Tina 2	Estanque	Baño Pérez	∅	
La pendiente de la línea del nivel corresponde a la distancia del flujo neto de cero. (RGR 1)	0,43 1	0,50 0		0,25 1			0,39 0,67	0,13
Cuando el flujo neto es positivo, el nivel aumenta. (RG2)	0,50 1	0,33 -1	0,63 1	0,38 -1	0,69 1	0,38 -1	0,48 0,00	0,15
Cuando el flujo neto es negativo, el nivel disminuye. (RG3)		0,67 -1	0,63 1	0,38 -1	0,63 1	0,75 1	0,61 0,20	0,14
Cuando el flujo es positivo y crece constantemente, el nivel crece exponencialmente. (RGR 4)				0,00 0			0,00 0,00	
Cuando el flujo es negativo y disminuye constantemente, el nivel disminuye exponencialmente. (RGR 5)				0,00 0			0,00 0,00	
Cuando el flujo neto cambia de positivo a negativo, el nivel registra un máximo local. (RGR 6)	0,43 -1	0,33 1	0,63 1	0,38 -1		0,75 1	0,50 0,20	0,18
Promedio general	0,45	0,46	0,63	0,23	0,66	0,63		
¿Era mejor usar la hoja de reglas?	SI	NO	SI	NO	SI	SI		

Además de estos aspectos de los resultados generales, el análisis de los resultados por prueba revela algunos puntos relevantes.

En la prueba “Fantasia”, aparece la regla específica “Cuando los egresos de un año superan los ingresos, el flujo neto de año es negativo y se habla de un déficit fiscal.”, que es idéntica a una regla específica de la prueba “Personas en la tienda”: “Cuando el flujo entrante es menor al flujo de salida, entonces el flujo neto es negativo”. Sin embargo, los resultados discrepan:

TABLA IV – FLUJO NETO NEGATIVO

General (n=7)		Con hoja (n=3)		Sin hoja (n=4)		Mejor "con"
∅	σ	∅	σ	∅	σ	
0,50	0,20	0,58	0,29	0,44	0,13	1
0,63	0,23	0,50	0,00	0,67	0,29	-1

Sólo en el primer caso, usar la hoja de reglas fue ventajoso.

Algo similar se observa entre las reglas específicas “Cuando los egresos de un año igualan los ingresos, el flujo neto de año es nulo y no hay ni déficit ni superávit fiscal” y “Cuando el flujo entrante es mayor al flujo de salida, entonces el flujo neto es positivo” de las mismas dos pruebas,

junto con “Cuando la línea del flujo es encima de cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es positivo.” de la prueba del “estanque de petróleo”:

TABLA V – FLUJO NETO POSITIVO

General (n=7)		Con hoja (n=3)		Sin hoja (n=4)		Mejor "con"
∅	σ	∅	σ	∅	σ	
0,43	0,53	0,67	0,58	0,25	0,50	1
0,25	0,46	0,00	0,00	0,33	0,58	-1
0,69	0,46	1,00	0,00	0,58	0,49	1

También aquí, la hoja de reglas no parece haber ayudado en el caso de “Personas en la tienda”, que es justamente una de las pruebas que requiere interpretación de información gráfica.

Entre las pruebas “Tina de baño 1” y “Tina de baño 2”, se comparan los resultados diferentes reglas específicas (compartidas): “Cuando la línea del flujo es encima de cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es positivo.”

TABLA VI – INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS 1

General (n=7)		Con hoja (n=3)		Sin hoja (n=4)		Mejor "con"
∅	σ	∅	σ	∅	σ	
0,63	0,52	0,75	0,50	0,50	0,58	1
0,25	0,46	1,00	0,00	0,00	0,00	1

“Cuando la línea del flujo es bajo de cero, el flujo neto (flujo entrante – flujo de salida) es negativo.”

TABLA VII - INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS 2

General (n=7)		Con hoja (n=3)		Sin hoja (n=4)		Mejor "con"
∅	σ	∅	σ	∅	σ	
0,63	0,52	0,75	0,50	0,50	0,58	1
0,25	0,46	1,00	0,00	0,00	0,00	1

“La pendiente de la línea del nivel corresponde a la distancia del flujo neto de cero.”

TABLA VIII - INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS 3

General (n=7)		Con hoja (n=3)		Sin hoja (n=4)		Mejor "con"
∅	σ	∅	σ	∅	σ	
0,13	0,35	0,00	0,00	0,25	0,50	-1
0,25	0,46	1,00	0,00	0,00	0,00	1

En general, los resultados para la prueba 2, con flujos cambiantes y por lo tanto una evolución no lineal del nivel, son muy inferiores a los de la prueba 1; aún si el uso de las hojas de reglas ayudó en cada caso, no protegió contra esta complejidad. La aparente excepción (en la tercera tabla) llama la atención, ya que parece contradictoria. Por el momento, no hay ninguna explicación.

Las pruebas “Tina de baño 1”, “Tina de baño 2” y “Baño Pérez” comparten una regla específica: “Al inicio de cada periodo, la línea del nivel empieza en el punto donde terminó en el periodo previo; al inicio del primer periodo, está señalado por un punto.”

TABLA IX – CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS 1

General (n=7)		Con hoja (n=3)		Sin hoja (n=4)		Mejor "con"
∅	σ	∅	σ	∅	σ	
0,63	0,52	0,75	0,50	0,50	0,58	1
1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0
1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0

Resulta sorprendente que las mismas personas que respetaron esta regla en los casos 2 y 3, no lo hicieron en el primer caso. Se trata de una regla poco compleja, aparentemente de sentido común y que debería formar parte del repertorio básico de cada estudiante universitario.

“Si el flujo neto es constante durante el periodo, entonces la línea del nivel es lineal (pendiente constante).” Es una regla específica que forma parte en las pruebas “Tina 1”, “Estanque” y “Baño Pérez”:

TABLA X – CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS 2

General (n=7)		Con hoja (n=3)		Sin hoja (n=4)		Mejor "con"
∅	σ	∅	σ	∅	σ	
0,63	0,52	0,75	0,50	0,50	0,58	1
0,63	0,38	1,00	0,00	0,50	0,35	1
0,75	0,46	1,00	0,00	0,67	0,52	1

En cada uno de estos casos, usar la hoja de reglas condujo a un resultado mejor. El rendimiento global parece bajo, pero especialmente inferior en

las pruebas que requieren la interpretación reinformación gráfica.

Finalmente, las pruebas “Tina 2”, “Estanque” y “Baño Pérez” hacen uso de la regla específica “El cambio del nivel durante un periodo corresponde a la distancia del flujo neto de cero durante el mismo periodo”:

TABLA XI -- CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS 3

General (n=7)		Con hoja (n=3)		Sin hoja (n=4)		Mejor "con"
\emptyset	σ	\emptyset	σ	\emptyset	σ	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,63	0,38	1,00	0,00	0,50	0,35	1
0,25	0,46	0,00	0,00	0,33	0,52	-1

Esta parece ser una regla que impone mayores exigencias a los participantes: el resultado global es muy bajo, y en dos de los tres casos, la hoja de reglas no fue de gran ayuda. Nuevamente, la prueba “Tina 2” se revela ser el desafío más difícil.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo preguntó por el pensamiento sistémico en el caso específico de los flujos y los niveles. Se propuso desde la teoría de Polanyi acerca del aprendizaje, usando el modelo de Dreyfus y Dreyfus sobre la transformación del novato en experto. Se elaboraron tres hipótesis preliminares, de las cuales la primera se estudió en detalle. Un conjunto de pruebas usados en estudios previos, se adaptó mediante la formulación de reglas generales y reglas específicas, que prescriben las operaciones a realizar para responder correctamente en cada una de estas pruebas.

A raíz de la aplicación de estas pruebas a un grupo pequeño de estudiantes novatos (en dinámica de sistemas), se han detectado algunos puntos en los cuales las pruebas pueden ser mejoradas. Asumiendo que las reglas generales prescriben adecuadamente las operaciones mentales acerca de los flujos y niveles, el hecho que la mayoría de las pruebas no se conectan con la totalidad de estas reglas llama a rediseñar las pruebas. Segundo, no se puede excluir la posibilidad de que la

formulación y representación de las reglas específicas dificulte su interpretación y observación. Tercero, el número de participantes no puede ser considerado satisfactorio más allá de haber permitido una primera exploración.

Esto siendo constatado, esta experimentación ha producido dos resultados sugestivos. Primero, el uso de las hojas de reglas permitió lograr resultados mejores que el intento de resolver las pruebas sin ellas. En este sentido, la hipótesis 1 parece más bien avalada por los hechos (que resultan insuficientes para concluir más que un “parece”). Segundo, las pruebas que requieren la interpretación reinformación gráfica fueron las de más bajos resultados. Especialmente la prueba “Tina 2” con sus niveles ni lineales se ha revelado ser mucho más difícil; cabe preguntarse si no sería importante agregar pruebas de dificultad intermedia.

También se puede decir que no se produjo un cambio de conducta en los participantes: a lo largo de las 6 pruebas, quienes no usan hoja de reglas lo hicieron desde el inicio, y quienes sí usaban estas hojas, lo hicieron siempre. Por lo tanto, se debe constatar que los participantes del segundo grupo no se han apropiado estas reglas. De ello no se puede concluir que la teoría de la incorporación de reglas debe ser rechazada. Más bien, los defectos detectados deben ser corregidos y las pruebas deben ser aplicadas a grupos más numerosos de sujetos.

Para el futuro de esta línea de investigación, surge una interrogante metodológica que debe ser brevemente enunciado en este lugar. Entre quienes indagan los modelos mentales, es bien aceptado ([3], [2]) que *medir* lo que sabe una persona en un momento es diferente de *cambiar* lo que una persona sabe. Para investigar fenómenos de aprendizaje, no es suficiente *cambiar* los conocimientos de la persona, es necesario *medir* lo que sabe en diferentes momentos para poder llegar a inferencias criticables. En este sentido, se ha establecido un imperativo de *medir*.

Las pruebas de Kainz y Ossimitz [7] se aplicaron para medir. Tenían que ser varias para variar la forma de representación, ya que se sospechaba que ella se relaciona con los rendimientos. Sin

embargo, al aplicar más de una prueba acerca de un mismo objeto de estudio, surge una aplicación secuencial y con ella la posibilidad que la realización de la primera prueba cambie la base para enfrentar la segunda: repetir conduce al aprendizaje.

Desde este punto, se diseñó el presente conjunto de pruebas, asumiendo que esta secuencialidad sería suficiente para inducir aprendizaje. Sin embargo, analizado del punto de vista de las teorías acerca del aprendizaje que proponen ciclos de acción-reflexión ([1], [9], [8], [18]), hacer responder la secuencia de pruebas sin corrección intermedia, es obligar a los sujetos a repetir la fase “acción” sin poder interponer la fase “reflexión”. En este sentido, se reconoce ahora una debilidad en el diseño que parece ser el resultado de una falta de claridad conceptual acerca de que se pretende medir: Kainz y Ossimitz buscaron medir un conocimiento, pero el presente estudio se interesa al aprendizaje (es decir: el cambio del conocimiento). Por lo tanto, donde Kaiz y Ossimitz tuvieron que minimizar el aprendizaje entre las diferentes pruebas, aquí debería buscarse a contrario fomentar este aprendizaje.

En consecuencia, un próximo estudio será realizado no solamente con las pruebas y las reglas revisadas, sino que de manera a definir la noción de *prueba* de manera a incluir un ciclo de aprendizaje: después que el respondiente se enfrenta a la tarea, la solución correcta y el uso adecuado de las reglas relevantes se presentan, permitiendo detectar los errores del intento.

Se concluye que la experimentación reportada aquí permite decir que esta línea de trabajo promete comprender mejor cómo las personas construyen competencias de pensamiento sistémico. Las pruebas se pondrán entonces en su forma definitiva, y se buscará aplicarlas en estudios más amplios.

Los pasos posteriores serán relacionados con la segunda hipótesis y buscarán comprobar experimentalmente que los sujetos que se transformaron en *avanzados*, realmente sobrepasan a *novatos* en un conjunto de pruebas distintas (y sin acceso a hojas de reglas). Luego un último conjunto de pruebas deberá aclarar si estos

avanzados pueden ser considerados mejores modeladores que un grupo de comparación consistiendo de *novatos* (la tercera hipótesis).

De confirmarse así la teoría de la apropiación de reglas, se obtendrá también un material instructivo efectivo, permitiendo a incluir el aprendizaje de esta parte del pensamiento sistémico en los planes de estudio.

REFERENCIAS

- [1] J. Dewey, “*How we think*”, Prometheus Books, Buffalo, NY, 1991
- [2] J. Doyle y D. Ford, , “Mental models concepts revisited: some clarifications and a reply to Lane”, *System Dynamics Review* **15**(4): 411-415, Winter 1999
- [3] J. Doyle, M. Radzicki, and W. Trees, “Measuring Change in Mental Models of Dynamic Systems: An Exploratory Study”, (unpublished) Report No. 14, 1998
- [4] H. Dreyfus and S. Dreyfus, *Mind over machine. The power of human intuition and expertise in the era of the computer*, The Free Press, 1986
- [5] J. Forrester, *Industrial Dynamics*, MIT Press, 1961
- [6] E. Jensen and B. Brehmer, ”Understanding and control of a simple dynamics system”, *System Dynamics Review* **19**(2): 119-138, Summer 2003
- [7] D. Kainz and G. Ossimitz, “Can Students learn Stock-Flow-Thinking? An empirical Investigation”. *Proceedings of the 20th International System Dynamics Conference*, Palermo, Italy, 2002
- [8] D. Kolb, *Experiential Learning. Experience as the Source of Learning and Development*, Prentice Hall, 1984
- [9] K. Lewin, *Field Theory in Social Sciences*, Harper & Row, 1951
- [10] K., Maani and V. Maharaj , “Links between systems thinking and complex decision making”, *System Dynamics Review* **20**(1): 21-48, Spring 2004
- [11] E. Moxnes, “Not only the tragedy of the commons: misperceptions of feedback and policies for sustainable development”, *System Dynamics Review* **16**(4):325–348, Winter 2000
- [12] E. Moxnes, “Misperceptions of basic dynamics: the case of renewable resource management”, *System Dynamics Review* **20**(2): 139-162, Summer 2004
- [13] G. Neuweg, *Könnerschaft und implizites Wissen*, Waxmann, 1999
- [14] G. Ossimitz, “Stock-Flow-Thinking and Reading stock-flow-related Graphs: An Empirical Investigation in Dynamic Thinking Abilities”, *Proceedings of the 20th International System Dynamics Conference*, Palermo, Italy, 2002

- [15] M. Polanyi, “*The tacit dimension*”. New York: Doubleday, 1966
- [16] B. Richmond, “System Dynamics/Systems Thinking: Let's Just Get On With It”, *Proceedings of the 12th International Systems Dynamics Conference*, Sterling, Scotland, 1994
- [17] B. Richmond, “The “thinking” in systems thinking: how can we make it easier to master”, *The Systems Thinker* 8(2): 1–5., 1997
- [18] M. Schaffernicht, “Managing improvement amongst autonomous actors with OMCA: the case of the Chilean educational reform”, *Proceedings of the 17th International System Dynamics Conference*, Wellington, New Zealand, 1999
- [19] M. Schaffernicht, “Are you experienced? A model of learning system thinking skills”, *Proceedings of the 23rd International System Dynamics Conference*, Boston (MA), 2005
- [20] J. D. Sterman, “Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment”. *Management Science* 35(35): 321-339. 1989
- [21] L. Sweeney and J. Sterman, “Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory”, *System Dynamics Review* 16(4): 249–286. 2000.

Autor

Martin Schaffernicht es profesor de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad de Talca. Obtuvo su doctorado en ciencias de gestión de la Universidad Montpellier II (F). Su investigación se concentra en el aprendizaje en las organizaciones y el rol del modelamiento.

Análisis Dinámico de la Cadena de Franquicia

Alvarez Castaño, Yolanda.
yalvarez@uniovi.es
Universidad de Oviedo

Resumen— Las franquicias de negocio son empresas que operan en el sector servicios, habiendo experimentado, en España, un gran crecimiento en las últimas décadas.

La franquicia es una forma híbrida o plural, constituida por establecimientos propios y franquiciados, en la que estos últimos reciben un concepto de negocio íntegro para su explotación.

El objetivo de este trabajo es analizar las razones que explican el crecimiento de las cadenas de franquicia y cómo escogen estas empresas su grado de integración vertical. Gracias al modelo de Dinámica de Sistemas elaborado y a las posteriores simulaciones efectuadas con el mismo se describe el comportamiento de una cadena de restauración que desea mantener un grado de integración vertical estable.

Índice de Términos— Franquicia, integración vertical, simulación.

I. INTRODUCCIÓN

Las franquicias de negocio son empresas que operan en el sector servicios y que han experimentado un gran crecimiento en las últimas décadas, tanto en lo que se refiere al número de enseñas, como a los establecimientos de cada cadena. Este crecimiento de las cadenas ya establecidas se atribuye, en parte, a las características de la forma organizativa de franquicia, que estimulan la expansión del negocio. A título ilustrativo, el número de cadenas que operaban en España en el año 2004 era de 742 mientras que el número de establecimientos era de 52.346 [26].

Las cadenas de franquicia son organizaciones híbridas que presentan una estructura dual, integrada por oficinas y plantas productivas centrales, junto con establecimientos de atención al público. A su vez, estos establecimientos están gestionados por gerentes contratados o bien por

franquiciados propietarios de su unidad, de modo que el mismo concepto de negocio se explota a través de empleados y de empresarios independientes y, aunque ambos reciben incentivos muy diferentes, los clientes observan un elevado grado de uniformidad en los servicios que reciben.

Cuando la empresa se organiza como una franquicia tiene establecimientos propios dirigidos por gerentes, que son empleados del franquiciador, a los que se puede ordenar cómo deben realizar su trabajo. Además, dispone de franquiciados que son empresarios legalmente independientes, que adquieren el derecho a clonar todo el concepto de negocio y a usar el nombre de marca, en un periodo y localización determinada y bajo ciertas condiciones.

El franquiciador y los franquiciados o gerentes tienen funciones especializadas. El franquiciador desarrolla las operaciones en las que existen economías de escala [21] y los responsables de los establecimientos aquellas otras en las que la cercanía al cliente es fundamental para su desarrollo, como la gestión diaria del establecimiento.

En toda cadena de franquicia se debe realizar un esfuerzo adecuado en dos actividades, el mantenimiento de la homogeneidad de la marca y el esfuerzo en ventas [2]. La asistencia a los clientes y la imagen de los distintos emplazamientos debe ser uniforme a la par que se desarrolla el nombre de marca, la cual es una característica valiosa para el consumidor. Los clientes aprecian las marcas reconocidas porque les garantizan la prestación del mismo servicio en cualquier establecimiento [10]. De este modo reducen sus costes de búsqueda al poder anticipar lo que van a recibir en futuras compras [21].

En ocasiones estos dos objetivos pueden ser incompatibles, dado que los esfuerzos para alcanzar

la coordinación pueden reducir la atención sobre las ventas. Sin embargo, la franquicia también especializa estas funciones en los distintos establecimientos. Consideradas globalmente, las unidades propias preservan la uniformidad del sistema y las franquiciadas aportan capacidad de innovación y un esfuerzo en ventas que requiere menos control del franquiciador. Los gerentes de los establecimientos propios reciben incentivos de bajo nivel y se considera que su rendimiento es adecuado cuando siguen las indicaciones del franquiciador. Por tanto, no tienen incentivos para apartarse de las normas que les envía la central, aunque su esfuerzo en mejorar las ventas no siempre sea lo suficientemente intenso.

Los franquiciados, a diferencia de los empresarios que inician su actividad de forma autónoma respecto a una cadena, reciben del franquiciador *inputs* de gestión y un producto o servicio comercializable [29]; es decir, reciben un negocio llave en mano para su explotación. El franquiciador forma al franquiciado y a su personal y le proporciona servicios continuados, que incluyen campañas de publicidad, compras en bloque, actualizaciones en la formación, I+D y estrategias de marketing, que en muchas ocasiones adquieren de modo voluntario, una vez iniciada la relación.

A cambio de esos servicios, los franquiciados deben pagar un canon de entrada fijo al inicio de la relación y otras cuotas periódicas en función de las ventas, que comprenden un *royalty* y un canon de publicidad. Éstas son las principales fuentes de ingresos para el franquiciador, además de las ventas de sus propios establecimientos. La cuantía de estos pagos, junto con el reconocimiento de la marca y las ventas esperadas determinarán el atractivo del negocio para los potenciales franquiciados.

Los franquiciados no requieren de una supervisión tan estrecha o intensa como los empleados porque están directamente interesados en maximizar las ventas; y se les dirige a través de la persuasión, no de la jerarquía. Al ser propietarios, están motivados para investigar adaptaciones a los mercados o bien presionar al franquiciador para que les aporte soluciones específicas a sus problemas [5].

Así, la distribución dual a través de establecimientos propios y franquiciados aporta sinergias a las cadenas organizadas de este modo, alcanzando simultáneamente uniformidad y un esfuerzo permanente en la mejora de las ventas [14]-[5].

Sin embargo, el franquiciado puede aprovecharse de la reputación del nombre comercial, que es específico a la empresa, suministrando un servicio de calidad inferior con el fin de ahorrar costes. De este modo, disfrutaría de las externalidades que genera la marca sobre su negocio sin contribuir a desarrollarla y perjudicando al resto de la cadena¹.

Dadas estas características de las cadenas de franquicia, se puede afirmar que las empresas así organizadas son negocios intensivos en activos intangibles. Este tipo de activos promueve el crecimiento de la organización ya que presentan características comunes con los bienes públicos² que tienden a hacerlos excedentarios.

II. CRECIMIENTO E INTEGRACIÓN VERTICAL EN LAS FRANQUICIAS

Se puede defender, desde un punto de vista teórico, que las empresas de franquicia modifican su grado de integración vertical con el fin de motivar y controlar los posibles problemas de oportunismo descritos en el apartado anterior. Sin embargo, la evidencia empírica de los estudios temporales parece indicar que estos parámetros no cambian en el tiempo [12]-[13]-[16]

Por otra parte, aproximadamente un 90% de las empresas franquiciadoras desean aumentar el número de unidades de sus sistemas [6]-[11]-[15]. Esto se debe al hecho de que los ingresos del franquiciador aumentan casi exclusivamente con la

¹ Por su parte, el franquiciador también puede desarrollar comportamientos oportunistas no actualizando el negocio en detrimento de los franquiciados, que realizan inversiones específicas y no pueden abandonar la relación sin costes. Naturalmente, este incentivo dependerá del horizonte del franquiciador, es decir, del número de locales propios de los que disponga y de su intención de seguir explotándolos y seguir vendiendo franquicias.

² Los intangibles no se deterioran con el uso, de modo que siempre se pueden aplicar a actividades adicionales sin pérdida de valor; además son difíciles de comercializar al ser, en gran medida, específicos a la organización que los genera y difíciles de valorar. Por ambos motivos, las empresas que los desarrollan tienden a crecer sobre esta base y por sí mismas, no comercializando los intangibles excedentarios. Este puede ser uno de los factores que han motivado el importante crecimiento experimentado por las franquicias.

apertura de nuevas unidades, más que con el incremento de las ventas en los locales ya existentes [17]-[24]. La tasa óptima de crecimiento para el franquiciador es mayor que para los franquiciados, dado que los ingresos del primero dependen de las ventas de todo el sistema, mientras que los del franquiciado están ligados a las operaciones de su establecimiento [31].

Por tanto, el crecimiento de la cadena puede tener que realizarse a través de una determinada proporción de establecimientos franquiciados; es decir, un grado adecuado de integración vertical. Este equilibrio puede reducir problemas asociados a la territorialidad, a la credibilidad del compromiso del franquiciador con el nombre de marca, al desarrollo de un poder negociador adecuado en aquellas decisiones de la cadena que se adoptan mediante votación y al desarrollo de una estructura de costes apropiada.

A. Territorialidad

Si un sistema se basa en los franquiciados para crecer, se enfrentará a problemas de usurpación o violación del territorio de franquiciados anteriores [28]. Los franquiciados suelen tener un área de exclusividad para prevenir estos conflictos y estimular las inversiones específicas en sus potenciales mercados locales. El área de exclusividad garantiza una distancia mínima con otros establecimientos, limitando la competencia intramarca —aunque no la elimine completamente— [22] y evitando la canibalización de las ventas de locales próximos. En este sentido, un porcentaje adecuado de integración puede controlar este efecto porque el franquiciador puede fijar sus propios precios, pero no los del franquiciado.

B. Compromiso del franquiciador con la marca

El franquiciador produce algunos recursos generales para la cadena como son el marketing, la gestión de compras y la formación para los gerentes de las unidades propias y para los franquiciados que deseen contratar esos servicios. Como la venta de los mismos a los franquiciados no está asegurada, las fuerzas de mercado asociadas a la incertidumbre

sobre la demanda de estos servicios presionan al franquiciador a ser competitivo.

Esto hace deseable mantener una determinada proporción de unidades propias que suministren una base de demanda estable de servicios que permita que toda la cadena —incluyendo a los franquiciados— se beneficie de las economías de escala en áreas críticas como la gestión de compras [5]. Un porcentaje fijo de unidades propias puede suponer un compromiso creíble por parte del franquiciador de mantener el valor de la marca. Así, sus propios establecimientos podrían permitir rentabilizar sus inversiones en la cadena, incluso aunque no existieran los franquiciados.

C. Poder negociador

Los franquiciados de una cadena deciden, independientemente, si implementan una adaptación o no, pero pueden hacer fracasar un lanzamiento si no se adhieren a él. Ésta puede ser otra motivación para mantener un cierto porcentaje de unidades propias, donde las decisiones se toman de manera centralizada. Al implementar nuevas ideas en estos establecimientos, el franquiciador puede alcanzar una masa crítica de unidades adheridas y persuadir a los franquiciados para que las adopten, mostrándoles cifras reales de resultados. No obstante, el poder negociador del franquiciador no sólo depende del grado de integración, sino de cómo se distribuyen las unidades propias [16]. Éstas deben tener un grado de dispersión adecuado para alcanzar una masa crítica en cada mercado de interés.

El canon de publicidad plantea un problema similar. Las cantidades obtenidas por este concepto se suelen depositar en un fondo promocional regional y en otro nacional, que los franquiciadores usan para preservar la fortaleza del nombre de marca [8]. El franquiciador recauda este canon porque, tal y como se ha mencionado previamente, está especializado en actividades sujetas a economías de escala significativas, tales como la coordinación de campañas promocionales nacionales [21].

La publicidad se puede considerar como un modo de adaptación del sistema, dado que afecta a la identidad uniforme de cada unidad [5].

Para tomar las decisiones publicitarias suele emplearse el principio democrático —los votos son proporcionales al número de unidades—, de modo que la composición de la cadena determina el resultado final. En este sentido, existe evidencia de que los franquiciadores, a veces, alteran la proporción de unidades propias en sus cadenas para obtener el control sobre este tipo de decisiones [5].

Así, el crecimiento no sólo incrementa el valor de la franquicia a través de la representación en el mercado —número de establecimientos— [4]-[23], sino que, además, genera fondos adicionales para la publicidad. Por ambas razones puede reducir los efectos de la competencia espacial al expandir la demanda [9].

D. Estructura de costes

El crecimiento también altera la estructura de costes de la cadena. Así, los costes de control suelen incrementarse con el tamaño del sistema, hasta un punto en el que la densidad de los establecimientos los reduce. También suelen aumentar los costes de formación, hasta que el franquiciador alcanza economías de escala en la enseñanza.

En relación con la decisión de crecer a través de unidades propias o, por el contrario, franquiciadas, señalar que los recursos organizativos necesarios para añadir unidades franquiciadas con nuevos franquiciados son algo menores que los requeridos por las nuevas unidades propias. La ventaja en costes de la franquicia como forma de crecimiento se deriva del hecho de que algunos franquiciados necesitan poca asistencia y, por ello, consumen pocos recursos. Más aún, muchos franquiciados toman decisiones —por ejemplo, seleccionar vendedores— y acometen actividades —tales como la contratación de personal— que hubieran implicado la intervención de los gestores existentes, en el caso de una unidad propia (Bradach, 1998, p. 72). La multifranquicia solventa incluso mejor las restricciones de crecimiento, ya que el franquiciador sólo selecciona operadores que estén obteniendo buenos resultados para concederles el derecho a abrir unidades adicionales. Además, estos agentes experimentados necesitan menos asistencia para abrir nuevas unidades y fomentan la uniformidad de la cadena [7].

III. ANÁLISIS SISTÉMICO-DINÁMICO DEL CRECIMIENTO DE LA FRANQUICIA

A diferencia de otros estudios sobre la composición de las redes de franquicia, aquí no sólo se sostiene que coexisten en el tiempo unidades propias y franquiciadas, sino que además, el porcentaje tiende a ser relativamente estable.

La elección de franquiciar o poseer una unidad no dependería sólo de las condiciones particulares del mercado y los agentes, es decir, de la transacción, sino también del grado de integración que se desea. Mediante un modelo matemático formal se puede analizar, dinámicamente, el interés en poseer establecimientos propios y franquiciados con establecimientos y agentes —transacciones— homogéneos [2].

A. Descripción del diagrama causal

Tomando como punto de referencia el marco teórico expuesto en el apartado anterior, se ha elaborado el diagrama causal que refleja las principales interrelaciones previamente comentadas (Fig. 1).

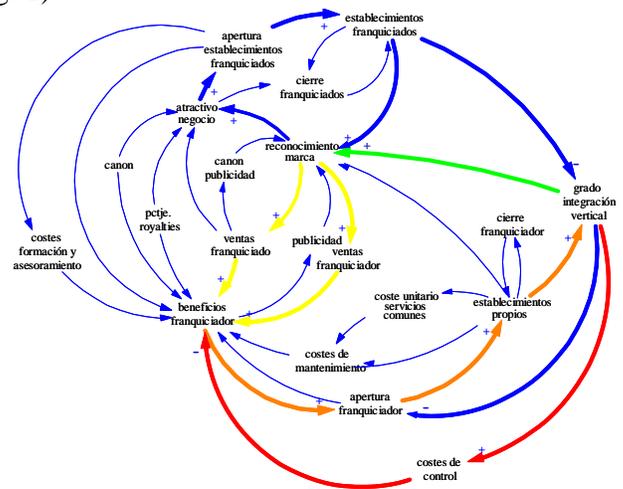


Fig. 1: Diagrama Causal.

Aun cuando en el mismo pueden detectarse múltiples bucles de realimentación, a continuación se analizan únicamente aquéllos que contribuyen en mayor medida a explicar el proceso dinámico de crecimiento e integración de una cadena de franquicia, los cuales aparecen resaltados en el diagrama.

En primer lugar, puede detectarse un bucle de realimentación positivo —parte superior derecha de la Fig. 1— asociado a las interrelaciones existentes entre los establecimientos propios, el tamaño de la cadena, el reconocimiento de marca y el atractivo del negocio para los potenciales franquiciados. Así, cuanto mayor es el atractivo del negocio, mayor es el número de franquiciados potenciales que desean unirse a la cadena de franquicia. El incremento en el número de establecimientos franquiciados y, por tanto, en el tamaño de la cadena, influye positivamente en el reconocimiento de marca, y por ende en el atractivo del negocio. Este bucle positivo es crítico a la hora de promover el crecimiento de la cadena; sin embargo, el incremento en el número de los establecimientos franquiciados genera, indirectamente, un segundo efecto que contrarresta este círculo virtuoso, reflejado en el bucle de realimentación negativo —parte superior derecha de la Fig. 1— que se describe a continuación.

A medida que aumenta el número de establecimientos franquiciados, como consecuencia del elevado reconocimiento de marca y del atractivo del negocio, el grado de integración vertical de la cadena comienza a reducirse. Este hecho, tal y como se ha expuesto anteriormente, afecta negativamente al reconocimiento de marca, al reducirse la uniformidad de la cadena.

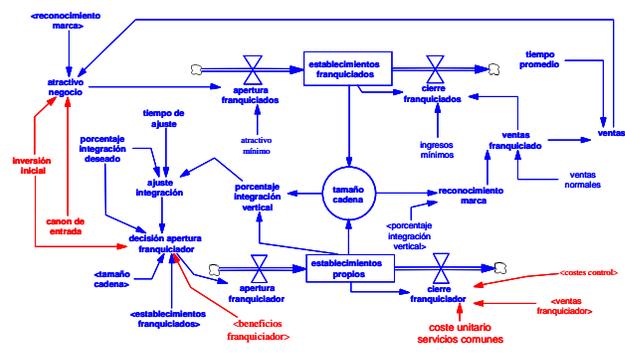
Con el fin de contrarrestar este efecto negativo, que puede contener o impedir el crecimiento posterior de la cadena, el franquiciador trata de mantener un grado de integración vertical óptimo. Este comportamiento se refleja a través de un segundo bucle de realimentación positivo que muestra las interdependencias entre el grado de integración vertical de la cadena, el reconocimiento de marca, las ventas de la cadena, los beneficios del franquiciador y la apertura de nuevos establecimientos propios. En este sentido, a medida que se incrementan los beneficios del franquiciador, debido a los incrementos tanto en las ventas propias como en las de los franquiciados, el franquiciador dispondrá de más fondos para la apertura de nuevos establecimientos propios³. Esta decisión conllevará

un aumento del grado de integración vertical, así como del tamaño de la cadena. Ambos hechos presentan un efecto positivo sobre el reconocimiento de marca, dando lugar a un incremento en las ventas de todos los establecimientos.

Finalmente, y con objeto de mantener el nivel deseado de integración vertical, surge un segundo bucle negativo que vincula el nivel de integración vertical con la decisión de apertura de nuevos establecimientos propios, de forma tal que, cuando se alcanza el nivel de integración deseado, se decide no abrir más establecimientos propios, aun cuando existan los suficientes recursos para ello.

B. Análisis del diagrama de flujos

El diagrama causal, descrito en el apartado anterior, se transformó en un conjunto de ecuaciones estructurales que se representan a través de un diagrama de flujos. La Fig. 2 contiene los tres niveles principales del modelo: los establecimientos franquiciados, los establecimientos propios y los beneficios del franquiciador.



³ Cabe mencionar, como una de las limitaciones del modelo, que se parte del supuesto restrictivo de que el franquiciador únicamente financia la

apertura de nuevos establecimientos mediante fondos propios, sin recurrir a los ajenos.

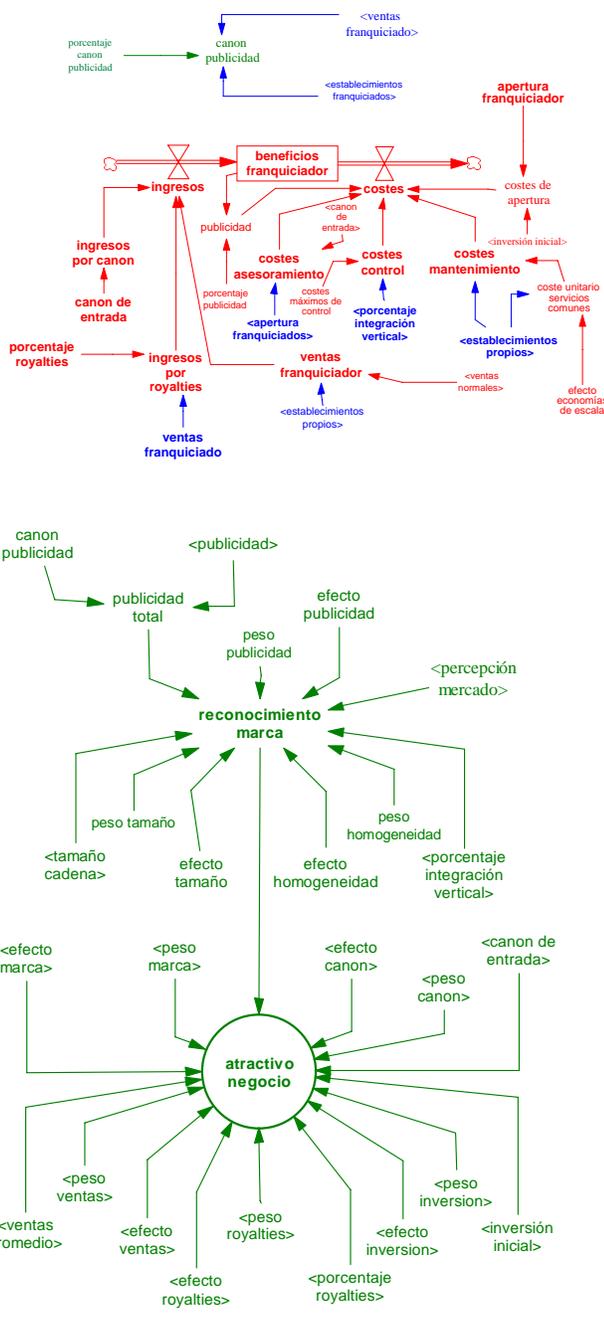


Fig. 2: Diagrama de Flujo

El valor del flujo de entrada del primer nivel —establecimientos franquiciados— está directamente vinculado al atractivo del negocio para los potenciales franquiciados. La decisión de apertura de nuevos establecimientos propios —flujo de entrada del segundo nivel, antes mencionado— está supeditada a la política de integración vertical seguida por el propietario de la cadena. La decisión de cierre, tanto de establecimientos propios como

franquiciados, depende, respectivamente, de los beneficios del franquiciador y de los ingresos de los franquiciados⁴.

Los ingresos totales —flujo de entrada del nivel beneficios del franquiciador— se obtienen mediante la suma de los ingresos provenientes del canon de entrada abonado por los franquiciados que se unen a la cadena, de los ingresos por royalties y, finalmente, de las ventas del franquiciador obtenidas en sus establecimientos propios. Los costes en que incurre el franquiciador —flujo de salida del nivel— incluyen aquéllos relacionados con la apertura de nuevos establecimientos propios, los costes de asesoramiento —relacionados con el adiestramiento y formación ofrecidos a los nuevos franquiciados con carácter previo a la apertura de sus establecimientos—, los costes de mantenimiento de las unidades propias —sujetos a economías de escala— y los costes de control —relacionados con el grado de integración vertical.

El reconocimiento de marca en el mercado se define a partir del efecto del tamaño de la cadena, de la uniformidad de la misma, así como del retraso en la percepción de los esfuerzos en publicidad —financiados a través del canon de publicidad cobrado a los franquiciados y las inversiones directas del franquiciador. Estos tres factores afectan positivamente al reconocimiento de la marca por parte de los clientes potenciales.

El reconocimiento de la marca en el mercado determina el atractivo del negocio para los potenciales franquiciados, aunque en el mismo también influyen las siguientes variables: la inversión inicial necesaria para abrir una unidad —que incluye el coste de inicio de las operaciones, tales como el equipamiento, inventario inicial, alquiler o capital humano entre otros—, el canon de entrada, el porcentaje de royalties estipulado por el propietario de la cadena, y, finalmente, las ventas esperadas⁵. Esta última variable muestra una

⁴ Es necesario señalar que la decisión de cierre de una unidad franquiciada, al igual que en el caso de los establecimientos propios, también debería depender de los beneficios del franquiciado y no de sus ingresos. Sin embargo, el modelo no recoge este concepto, dado que su objetivo es reflejar el crecimiento y rentabilidad de cadena, y no la de los franquiciados individuales.

⁵ Tanto el reconocimiento de marca como el atractivo del negocio para los potenciales franquiciados se definieron asignando unos pesos o ponderaciones a cada uno de los factores empleados en su definición, basándose para ello en

relación directa con el atractivo del negocio; mientras que las otras tres variables reseñadas mantienen una relación no lineal con dicha variable.

Entre todos los factores que definen el atractivo del negocio, se ha demostrado, empíricamente, que el reconocimiento de marca es el más valorado por los potenciales franquiciados [30]-[19], de ahí que se le otorgue en el modelo una ponderación superior al resto de las variables.

C. Validación estadística del modelo

El modelo fue validado al superar satisfactoriamente los distintos tests a los que fue sometido [3], tanto de validez estructural —cuyo objetivo es comprobar si la estructura del modelo constituye una representación adecuada del sistema real— como los tests de validación del comportamiento —destinados a contrastar la capacidad del modelo para reproducir, endógenamente, el comportamiento del sistema analizado.

Uno de los tests de validación del comportamiento del modelo es el propuesto por [25], denominado test de comportamiento estadístico. Mediante el mismo se pretende contrastar en qué medida el modelo reproduce el comportamiento del sistema observado en la realidad. De ahí la necesidad de disponer de datos históricos de una o varias variables incluidas en el modelo.

En este caso, se ha comparado, estadísticamente, la evolución del porcentaje de integración vertical generado por el modelo con su evolución real⁶. En este sentido, los datos correspondientes a la evolución real se han extraído del estudio de [13] realizado sobre un panel de 5000 cadenas de franquicia estadounidenses y canadienses, y referido al período comprendido entre 1980 y 1997.

Se aplican una serie de estadísticos con el fin de establecer el grado de fiabilidad del modelo a la hora de reproducir el comportamiento histórico del sistema.

Para estimar el error en la previsión se ha calculado el error medio cuadrático —EMC—, así como la raíz de dicho indicador —REMC⁷. Debe señalarse que el resultado del cálculo del EMC y del REMC se expresa en las mismas unidades que la variable considerada, en este caso el porcentaje de integración.

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (St - At)^2}$$

$$EMAP = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [(St - At) / At]$$

Donde St equivale al valor de la variable simulada en el período t y At al valor real de la variable en el mismo período. El valor que adoptan los estadísticos EMC y REMC⁸ —véase Tabla I—, así como el que toma el coeficiente de determinación, y que aparece recogido en la tabla anterior, permiten concluir que el modelo reproduce con fiabilidad la evolución real del sistema.

TABLA I
TEST ESTADÍSTICO

RESULTADOS DEL TEST ESTADÍSTICO	
n	29
Coeficiente de determinación R ²	0,913
Error medio absoluto porcentual EMAP	0,123
Error medio cuadrático EMC	0,00053
Raíz del error medio cuadrático REMC	0,0229
Componente de sesgo del EMC U ^M	0,14375
Componente de variación de EMC U ^S	0,00
Componente de covariación del EMC U ^C	0,856

Además del cálculo del error total, a través de los indicadores anteriores, resulta de interés analizar las posibles fuentes de dicho error. De este modo, se puede comprobar si la falta de ajuste a los datos reales se debe a errores en el modelo, o a un elevado grado de aleatoriedad en la evolución de los datos reales [25]. Con este fin, se aplican los estadísticos

información cualitativa obtenida de la literatura sobre franquicias. Además, cabe señalar que los valores asignados a la mayor parte de parámetros incluidos en el modelo se obtuvieron a partir de la información recogida en anuarios de franquicia.

⁶ Para la obtención de esta información se ha empleado el módulo de cálculo estadístico propuesto por [18], basado en [25].

⁷ El EMC presenta dos ventajas: da mayor peso a las discrepancias elevadas frente a las pequeñas y evita que errores de signo contrario se contrarresten.

⁸ La magnitud del estadístico REMC únicamente puede valorarse tomando como punto de comparación el valor medio de la variable objeto de análisis [20]. En este caso, el valor medio del porcentaje de integración es A = 0.1616.

propuestos por [7], consecuencia de la descomposición del EMC en tres componentes:

$$EMC^9 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (S_t - A_t)^2 = (\bar{S} - \bar{A})^2 + (S_s - A_A)^2 + 2(1 - r)S_s A_A$$

El primer término mide la desviación o sesgo existente entre la serie simulada y la real, el segundo equivale al componente del EMC debido a diferencias en las varianzas de la serie simulada y la real y, por último, $2(1 - r)S_s A_A$ es el componente del error generado por una covariación incompleta entre las dos series.

$$U^M = (\bar{S} - \bar{A})^2 / EMC \quad (I)$$

$$U^S = (S_s - A_A)^2 / EMC \quad (II)$$

$$U^C = 2(1 - r)S_s A_A / EMC \quad (III)$$

La suma de (I), (II) y (III) es igual a la unidad, de modo que cada uno de ellos representa la fracción del EMC debido a sesgos, diferencias en la varianza y diferencias en la covarianza, respectivamente.

En este caso, la mayor parte del error se concentra en el tercer componente, debido a diferencias en la covarianza, mientras que el primer componente toma un valor relativamente pequeño y el segundo nulo. Este resultado demuestra que si bien el modelo no reproduce perfectamente los valores reales en cada momento, sin embargo, refleja adecuadamente el valor medio y las tendencias centrales dominantes observadas en la evolución real de la variable. En la medida en que la mayor proporción del error se concentra en el tercer componente (III), ello indica que éste es pequeño y no sistemático.

Por último, debe señalarse que el hecho de que el primer componente no adopte un valor más próximo a cero puede ser debido a errores en la especificación de los parámetros o, alternativamente, a una simplificación en las hipótesis de partida, la cual no compromete la validación del modelo.

IV. ANÁLISIS DINÁMICO DEL GRADO DE INTEGRACIÓN VERTICAL

La evidencia empírica muestra que el grado medio de integración vertical en las cadenas de franquicias que operan en el sector servicios toma un valor aproximado del 35% [26]. Por este motivo, se ha asignado este valor a la variable *porcentaje integración deseado* y se ha tomado en cuenta a la hora de establecer los valores iniciales de los niveles *establecimientos propios* y *establecimientos franquiciados*. De este modo, el grado de integración vertical al inicio de la simulación coincide con su nivel deseado.

Partiendo de esta situación inicial, en el gráfico de la Fig. 3 se refleja el crecimiento del tamaño de la cadena, así como la evolución de las variables *establecimientos propios* y *establecimientos franquiciados*.

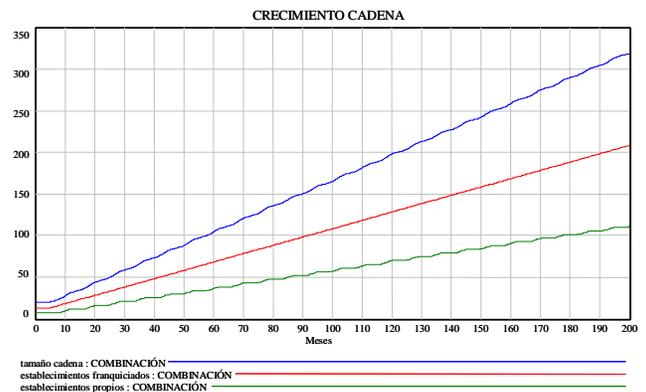


Fig. 3: Crecimiento de la Franquicia

En el mismo, se aprecia un comportamiento similar al crecimiento exponencial, consecuencia del efecto del primero de los bucles positivo descrito en el apartado III.A. Así, un crecimiento inicial rápido aumenta la notoriedad de la marca en el mercado final, favoreciendo la captación de franquiciados adicionales, cuya presencia —al incrementar el tamaño de la cadena— incide positivamente en el reconocimiento de la marca y, por tanto, en el valor de la cadena. En definitiva, este comportamiento surge como consecuencia de la existencia de rendimientos crecientes a escala.

Ahora bien, si ese crecimiento se realizara básicamente a través de establecimientos franquiciados, reduciéndose el grado de integración

⁹ Donde S y A son, respectivamente, las medias de los datos generados en la simulación y los datos de la serie real, S_s y A_A la desviación típica en cada caso y r el coeficiente de correlación entre los datos reales y los simulados.

vertical de la cadena, la homogeneidad del servicio se vería dañada, afectando negativamente al reconocimiento de marca y, finalmente, al atractivo del negocio y a los beneficios del franquiciador.

Si el franquiciador opta por controlar el grado de integración vertical —con el fin de evitar un deterioro en el reconocimiento de marca que limite su crecimiento— el porcentaje de integración vertical presenta un comportamiento oscilante en torno a su nivel deseado, pero sin alcanzar una situación de equilibrio. No obstante, cabe señalar que, tal y como se aprecia en el gráfico —Fig. 4— las fluctuaciones en la variable analizada van atenuándose progresivamente a medida que transcurre el tiempo, pero sin llegar a alcanzar un equilibrio estable.

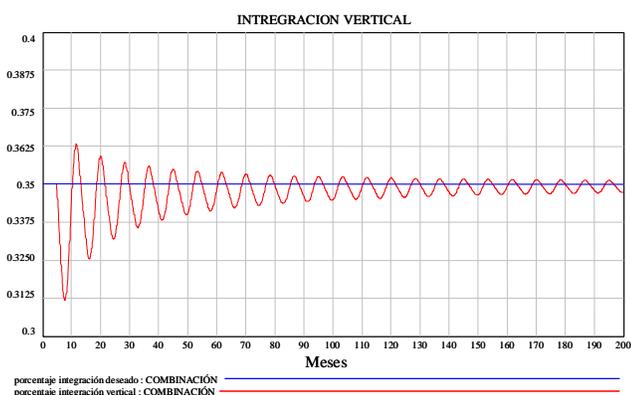


Fig. 4: Evolución del Grado de Integración Vertical.

V. CONCLUSIONES

Un rápido crecimiento inicial es un aspecto fundamental para las empresas de franquicia —especialmente para aquellas que operan en el sector servicios debido a la existencia de rendimientos crecientes a escala en el largo plazo, como en las nuevas industrias basadas en activos intangibles y conocimiento [1]. Una expansión rápida permite que la empresa incremente su reconocimiento de marca en el mercado y pueda expandir su demanda —al aumentar su presencia en el mismo y generar más fondos destinados a la publicidad—, generándose de este modo una realimentación positiva. Además, el crecimiento resulta crítico para el franquiciador, ya que sus ingresos dependen, casi exclusivamente, de la apertura de nuevos establecimientos o unidades. Adicionalmente, el

reconocimiento de marca alcanzado, consecuencia del crecimiento, protege a los intangibles del negocio de la imitación.

Sin embargo, el franquiciador está interesado en controlar el grado de integración de la cadena, porque un crecimiento acelerado a través de establecimientos franquiciados puede dañar la uniformidad del sistema y, por tanto, el nombre de marca de la empresa. Asimismo, el crecimiento equilibrado reduce los problemas asociados a la territorialidad, a la credibilidad de los compromisos del franquiciador con el desarrollo de la cadena, al mantenimiento de un poder negociador conveniente en las decisiones democráticas y también al mantenimiento de una estructura de costes adecuada.

Ambos aspectos, un crecimiento inicial rápido y un grado de integración vertical apropiado, son fundamentales para la supervivencia de la cadena. A través del modelo de simulación elaborado se muestra la dificultad de controlar y alcanzar ambos objetivos de manera simultánea. De este modo, y sin olvidar el carácter teórico del mismo, el modelo puede ser empleado para analizar el comportamiento dinámico de una cadena de franquicia. Así, tomando como base los resultados de la simulación, se aprecia un comportamiento fluctuante en el grado de integración vertical real en torno a su valor deseado u objetivo, aunque dichas fluctuaciones se atenúan con el tiempo, al igual que se observa en el estudio de [13].

En conclusión, se demuestra cómo el franquiciador no puede mantener perfectamente estable el grado óptimo de integración vertical, debido, fundamentalmente, a los retrasos existentes entre la decisión de incrementar el número de establecimientos franquiciados y la apertura de establecimientos propiedad del franquiciador.

Destacar que el enfoque dinámico empleado en este trabajo permite eliminar algunas de las limitaciones asociadas a los estudios de corte transversal. En estos últimos, las observaciones se refieren a un momento concreto del tiempo y por eso se aprecian discrepancias en la evidencia empírica obtenida sobre la influencia del tamaño de la cadena, o de la antigüedad de la misma, sobre el grado de integración de la organización. A través de

la perspectiva temporal del enfoque dinámico se puede efectuar un análisis más realista de dicha influencia.

REFERENCIAS

- [1] W.B.Arthur. "Increasing Returns and the New World of Business", Harvard Business Review, julio-agosto, pp. 100-109. 1996.
- [2] C. Bai, Z. Tao. "Contract Mixing in Franchising as a Mechanism for Public-Good Provision", Journal of Economics & Management Strategy, vol. 9, n.1, primavera, pp. 85-113. 2000.
- [3] Y. Barlas. "Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models", European Journal of Operational Research, n. 42, pp. 59-87. 1989.
- [4] D. Baucus, M. Baucus y S. Human. "Choosing a Franchise: How Base Fees and Royalties Relate to the Value of the Franchise", Journal of Small Business Management, vol. 31, pp. 91-104. 1993.
- [5] J.L. Bradach. "Franchise Organizations", Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts. 1998.
- [6] J.A. Brockley; F.H.Dark, "The Choice of Organizational Form: The Case of Franchising", Journal of Financial Economics, vol. 18, pp. 401-420. 1987.
- [7] FRANQUICIAS HOY .El multifranquiciado: una figura rentable, n. 49, pp.60—64. 2000.
- [8] R. Justis; R. Judd. "Franchising". South Western Publishing Co., Cincinnati, OH. 1989.
- [9] P. Kaufmann, R. Kasturi. "A Model for Managing System Conflict During Franchise Expansion", Journal of Retailing, vol. 66, n. 2, pp. 155-173. 1990.
- [10] B. Klein, L.F. Saft. "The Law and Economics of Franchise Tying Contracts", Journal of Law and Economics, vol. 28, pp. 345-361. 1985.
- [11] F. Lafontaine "Agency Theory and Franchising: Some Empirical Results", Rand Journal Economics, vol. 23, pp. 263-283. 1992.
- [12] F. Lafontaine; K.L.. Shaw. "The Dynamics of Franchise Contracting: Evidence from Panel Data", Journal of Political Economy, vol. 107, n. 5, pp. 1041-1080. 1999a.
- [13] F. Lafontaine; K.L.. Shaw. "Targeting Managerial Control: Evidence from Franchising ", Actas de ISNIE Conference. 1999b.
- [14] S.B. Lewin. *Innovation and Authority in Franchise Systems: Toward a Grounded Theory of the Plural Form*, Tesis doctoral, Universidad de Harvard. 1997.
- [15] J. F. Love. *McDonald's: Behind the Golden Arches*, Bantam Books, New York. 1986.
- [16] S.C. Michel. "Investments to Create Bargaining Power: The Case of Franchising", Strategic Management Journal, vol. 21, pp. 497-514. 2000.
- [17] S. Norton. "Franchising, Brand Name Capital, and the Entrepreneurial Capacity Problem", Strategic Management Journal, vol. 9, pp. 105-114. 1988.
- [18] R. Oliva. "A VENSIM Module to Calculate Summary Statistics for Historical Fit". D-4584, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. 1997.
- [19] A. Peterson. y R. P. Dant. "Perceived Advantages of the Franchise Option From the Franchisee Perspective: Empirical Insights from a Service Franchise", Journal of Small Business Management, julio, pp. 46-61. 1990.
- [20] R.S. Pindick; D.L. Rubinfeld. *Modelos Económicos*. Ed. Labor Universitaria, Manuales. 1980.
- [21] P.H. Rubin. "The Theory of the Firm and the Structure of Franchise Contract", Journal of Law and Economics, vol. 21, pp. 58-77. 1978.
- [22] T. Schmidt. "An Analysis of Intra-brand Competition in the Franchise Industry", Review Industrial Organization, vol. 9, pp. 293-310. 1994.
- [23] K. C. Sen. "The Use of Initial Fees and Royalties in Business Format Franchising", Managerial and Decision Economics, vol. 14, pp. 175-190. 1993.
- [24] K. C. Sen. "The Use of Franchising as a Growth Strategy by US Restaurant Franchisors", Journal of Consumer Marketing, vol. 15, n. 4, pp. 397-407. 1998.
- [25] J.D. Sterman. "Appropriate Summary Statistics for Evaluating the Historic Fit of the System Dynamics Models", Dynamica, vol. 10, pt. II
- [26] TORMO Y ASOCIADOS (1997, 2004). *Franquicias*, Selina Olmedo, Madrid. 1984.
- [27] H. Theil. *Applied Economic Forecasting*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1966.
- [28] W.S. Vincent. "Encroachment: Legal Restrictions on Retail Franchise Expansion", Journal of Business Venturing, n. 13, pp. 29-41. 1998.
- [29] D.L. Williams. "Why Do Entrepreneurs Become Franchisees? An Empirical Analysis of Organizational Choice ", Journal of Business Venturing, vol. 14, n. 1, pp. 103-124. 1999.
- [30] S. Whitane. "Franchising and Franchisee Behavior: An Examination of Opinions, Personal Characteristics and Motives of Canadian Franchisee Entrepreneurs", Journal of Small Business Management, enero, pp. 22-29. 1991.
- [31] R. Zeller; D. Archabal and L. Brown. "Market Penetration and Locational Conflict in Franchise Systems", Decision Sciences, vol. 11, pp. 58-80. 1980.

Propuesta para el desarrollo en comunidad de un Entorno Software de Modelamiento - Simulación de modelos integrados – ESMS

Andrade, Hugo., Moreno, Jorge.

handrade@uis.edu.co - jjmoreno@unicauca.edu.co

Universidad Industrial de Santander – Grupo SIMON - Universidad del Cauca – Grupo GTI

Resumen—Este artículo tiene como propósito fundamental, proponer a la comunidad nacional y latinoamericana, el desarrollo de un entorno de modelado y simulación de modelos que integran varios paradigmas de representación o simplemente ESMS-MI, el cuál tendría como punto de partida la arquitectura de software de la herramienta EVOLUCION [11] desarrollada por el grupo SIMON [10] de investigaciones. Este entorno se desarrollaría a bajo costo y con alta calidad, al mismo tiempo que integraría en su diseño robustez y flexibilidad, con el objeto de mantenerlo competitivo en comparación con otras herramientas de similar naturaleza disponibles en el mercado. De otra parte, este artículo, también enuncia la estrategia concebida por SIMON para comunicar el diseño del proyecto propuesto a la comunidad (I+D), mediante la puesta en marcha de una tesis de maestría y dos trabajos de grado de ingeniería, los cuáles proponen por una parte, una arquitectura software para el ESMS-MI y por otra, una plataforma de soporte al desarrollo en comunidad para implementarlo. Este artículo además pone en evidencia la incorporación de la ingeniería del software como área de conocimiento que colabora con la Dinámica de Sistemas para asistirle al momento de concebir soluciones informáticas de apoyo a la representación de conocimiento, al respecto el grupo GTI [5] de la universidad del cauca, mediante el proyecto SIMEP-SW[12] colaborará con conocimiento y recurso humano para facilitar el trabajo que emprende SIMON.

Índice de Términos— Desarrollo Distribuido de Software, Dinámica de Sistemas, Entornos de Modelado y Simulación, Modelos Integrados.

I. INTRODUCCIÓN

El Grupo SIMON en su interés constante por aportar soluciones relacionadas con la integración entre la Dinámica de Sistemas (DS) y otros paradigmas de representación de conocimiento, ha

realizado experiencias que le han permitido la concepción e implementación de herramientas de modelado y simulación (p.ej: EVOLUCION), mediante las cuáles ha percibido la urgente necesidad relacionada con la disponibilidad de un Entorno Software de Modelado y Simulación para Modelos Integrados ó ESMS-MI, partiendo de la Dinámica de sistemas (DS). En este sentido, es válida la siguiente:

¿Como favorecer las condiciones necesarias para desarrollar un ESMS-MI, de bajo costo y calidad, competitivo industrialmente, mediante la integración de una comunidad (I+D), constituida por grupos de investigación en modelado y simulación e ingeniería de software, geográficamente dispersos?

Al respecto, SIMON, ha concebido tres (3) proyectos: uno (1) de maestría y dos (2) de ingeniería que soportarían tanto el diseño de una arquitectura base para el ESMS-MI, como el diseño del proyecto de desarrollo en comunidad para el ESMS-MI. Más adelante se describirá el propósito de cada proyecto.

A continuación se describe la trayectoria en investigación que ha traído experiencia para SIMON en la integración de modelos.

II. EXPERIENCIA GANADA EN SIMON SOBRE MODELOS INTEGRADOS

A. Trabajos Previos

El primer acercamiento a la integración se consiguió al establecer la posibilidad de relacionar la Dinámica de Sistemas y algunos elementos de las tecnologías emergentes mediante el proyecto titulado “Modelo Conceptual Generalizado para Soportar la Toma de Decisiones” [6], que incluyó en un modelo de Dinámica de Sistemas elementos (multiplicadores, no linealidades y variables exógenas) cuya definición se basó en técnicas emergentes, en concreto, Lógica Difusa (LD). Esta inclusión se obtuvo apoyando el modelado en el uso de sistemas de inferencia difusa y sistemas adaptativos de inferencia neuro-difusa (FIS y ANFIS respectivamente por sus siglas en inglés). Además esta investigación formuló un conjunto inicial de lineamientos metodológicos para modelar situaciones con el enfoque integrador.

Como continuación a este primer trabajo, se desarrolló el proyecto “Aplicaciones de un Modelo Conceptual Generalizado para Soportar la Toma de Decisiones”[8]. En este proyecto se hizo una revisión y análisis crítico del trabajo realizado en el proyecto anterior así como del resultados de experiencias en el marco de labores académicas del profesor Andrade con estudiantes de la Universidad del Magdalena [2], se investigó sobre la integración entre Dinámica de Sistemas y Lógica Difusa mediante la inclusión de FIS dentro de los modelos de DS, operando en tiempo de simulación; se identificaron tres posibles perspectivas para la integración, de las cuales desarrolló dos (Modelo Apoyado y Modelo Integrado [8]; exploró las características deseables en los fenómenos a estudiar desde el enfoque integrador; avanzó en la determinación de los tipos de situaciones susceptibles a ser tratadas con el enfoque integrador; hizo una propuesta metodológica para modelar situaciones con cada una de las perspectivas de integración desarrolladas; y planteó una serie de requisitos software a ser tenidos en cuenta para el desarrollo de un módulo que permitiera la inclusión de los FIS como elementos

de los modelos de DS, dentro de la herramienta de modelado y simulación Evolución 3.5 [4] sin recurrir a software externo.

B. Trabajos en Desarrollo

Un nuevo proyecto titulado “Componente de Inferencia Difusa para Evolución 3.5”, que se encuentra actualmente en desarrollo, acoge la propuesta metodológica y los requisitos propuestos por el trabajo “Aplicaciones de un Modelo Conceptual Generalizado para Soportar la Toma de Decisiones”, para el diseño e implementación de un módulo de software para Evolución que soporte el uso de Lógica Difusa en modelos de Dinámica de Sistemas mediante la inclusión de sistemas de inferencia difusa. Este proyecto dará soporte computacional a los avances conseguidos con anterioridad y mantendrá continuidad a los esfuerzos del grupo SIMON [10] para ofrecer soporte computacional a los desarrollos teóricos de la investigación.

Con los proyectos anteriormente descritos se ha conseguido una integración de la DS con LD y dar soporte metodológico al modelado bajo esta integración, para la representación del conocimiento. Además se está construyendo el soporte computacional que apoya la integración. Sin embargo, la integración no sólo se considera entre la DS y la LD, por ello se ha planteado la tesis de maestría titulada “Relación de la Dinámica de Sistemas (DS) y Otras Herramientas Matemáticas para el Modelado y la Simulación (OHMMS). – Hacia una Plataforma de Modelado” con la que se pretende ampliar el marco conceptual de la relación entre DS y LD, y extender este marco a relaciones de la Dinámica de Sistemas con otras herramientas matemáticas, en particular, Agentes Inteligentes, Autómatas Celulares, Algoritmos Genéticos, Redes Neuronales. Junto con la propuesta metodológica, este proyecto propone un diseño básico para el desarrollo de un módulo software para Evolución que permita el modelado con los diferentes tipos de relación y herramientas. Este estudio se apoya en las experiencias adquiridas en los demás proyectos asociados a la línea de investigación y toma aspectos de su metodología para definir la

posibilidad de los tipos de relación entre la DS y las diferentes herramientas matemáticas contempladas y en caso de ser posible más de un tipo de relación, determinar cuándo uno es más recomendable. A la par con su desarrollo, esta tesis plantea el inicio de la construcción de un lenguaje que permita por un lado interpretar las experiencias existentes, y por otro, la generación de nuevos lineamientos metodológicos para el modelado así como una base para futuras investigaciones en esta línea.

Como resultado de la investigación desarrollada se ha empezado a construir un lenguaje de interpretación y estudio de la integración en el que se ha profundizado sobre ésta al hablar de relaciones de integración entre la Dinámica de Sistemas y otras herramientas matemáticas para el modelado y la simulación. De esta manera se han identificado tres tipos de relación: Relación de Apoyo, Relación de Integración y Relación de Complemento.

III. COMPONENTES DEL PROYECTO

El proyecto propuesto a la comunidad colombiana y latinoamericana, se descompone en dos perspectivas diferenciables por su naturaleza: Producto y Proceso, tal como sugiere Pressman respecto a la dicotomía del software [9].

En primer lugar, se enuncia el producto constituyendo el “QUE” (en este caso se refiere a la arquitectura del ESMS-MI) con sus características clave. Esta perspectiva se explica en detalle en el numeral A de esta sección.

En segundo lugar, se describe el proceso constituyendo el “COMO” (se refiere a la estrategia para desarrollar en comunidad el producto), e introduciendo la ingeniería del software como área de soporte al desarrollo de herramientas para el modelado y simulación. Esta perspectiva se explica en detalle en el numeral B de esta sección.

A. *Diseño Arquitectónico para un ESMS-MI*

La concepción arquitectónica de un sistema software es fundamental para garantizar la implementación relativamente sencilla y elegante de la funcionalidad que satisface los requerimientos planteados para el entorno. En consecuencia, SIMON[10], propone la realización de un trabajo de grado de ingeniería que tome la arquitectura de software concebida para la herramienta EVOLUCION [11] y realice con ella lo siguiente:

- Evaluación y Diagnóstico de calidad sobre la arquitectura de EVOLUCION, con el propósito de detectar posibles falencias en el diseño, especialmente aquellas que dificultarían la implementación de componentes independientes, acoplados mediante interfaces bien definidas y desarrollados por equipos (I+D) geográficamente dispersos.
- Integración de mejoras a la arquitectura de EVOLUCION con el propósito de brindarle robustez, flexibilidad y facilidad de mantenimiento entre otras características de calidad deseables para el desarrollo en comunidad y basado en componentes integrados mediante interfaces bien definidas en la arquitectura.
- Finalmente, adaptación de nuevos requisitos orientados hacia la integración de componentes de software de modelado y simulación sobre paradigmas de representación alternos a la DS, desarrollados por equipos (I+D) de la comunidad.

B. *Diseño del Proyecto de desarrollo ESMS-MI*

Actualmente, las soluciones de software se desenvuelven en un medio extremadamente competitivo y dinámico, el desarrollo ágil de software de calidad, fiable y a bajo costo constituye una preocupación constante en la actual industria del software [7].

En consecuencia, quienes desarrollan software cualquiera que sea su motivación (academia, investigación o industria), deben repensar constantemente sus paradigmas de desarrollo, al mismo tiempo que apropian y mejoran procesos bien definidos y debidamente soportados con herramientas CASE. En este sentido, las organizaciones están convirtiendo en una norma, el desarrollo de software que involucra equipos geográficamente distribuidos, como respuesta a los complejos desafíos del mercado, de acuerdo al reporte del Yankee Group [15].

Esta tendencia ha motivado la incorporación de aspectos colaborativos a la ingeniería y gestión de proyectos de desarrollo de software en ambientes distribuidos. Sin embargo, gracias al desarrollo de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, la dispersión geográfica en parte puede ser aliviada. No obstante, cuestiones relativas a la gestión, comunicación, coordinación y disponibilidad de todos los equipos de desarrollo dispersos geográficamente son mucho más críticas que en los equipos tradicionales, donde el desarrollo de software se realiza desde una ubicación centralizada. En estas condiciones es complicado y riesgoso desarrollar software, justificándose la concepción de un mecanismo que a pesar de la dispersión geográfica, logre favorecer la percepción de unidad y sinergia en los equipos de desarrollo distribuidos, integrándolos en una única entidad denominada: “Comunidad (I+D)”.

La Comunidad (I+D) que aplica el desarrollo distribuido aprovecha la sinergia entre las personas pero corre todos los riesgos relacionados con la comunicación debido a la dispersión geográfica. En consecuencia, en un ambiente distribuido de desarrollo, es equivocado asumir por defecto, que los individuos pertenecientes a un equipo y hasta los mismos equipos, comparten la misma porción de espacio, tiempo, cultura y conocimiento, coordinando sincronizadamente sus respectivas actividades y decisiones. Por el contrario, un ambiente distribuido de desarrollo, en combinación con un mercado exigente y extremadamente dinámico, exige, que las organizaciones, se

preocupen por orientar sus esfuerzos hacia: la inversión de recursos, tiempo y dinero en la adecuación-modificación y mejoramiento de los procesos actuales, al mismo tiempo que se apropian e implementan buenas prácticas de la ingeniería del software, aprovechamiento de las ventajas competitivas, derivadas de la aplicación de tecnología y herramientas CASE disponibles, por último, generar capacidad de gestión para equipos distribuidos de desarrollo, al mismo tiempo que se potencian talentos y recursos sin importar su ubicación geográfica.

En este sentido, SIMON reconoce que no es suficiente con el planteamiento de la arquitectura del ESMS-MI, sino existe una estrategia de desarrollo adecuada para una comunidad (I+D) geográficamente dispersa. Al respecto se propone que el proyecto de desarrollo que realice la comunidad, esté soportado por una plataforma de soporte a la ingeniería de software distribuida denominada SEDISE¹. El desarrollo de esta plataforma estaría dado en un marco de cooperación entre el grupo SIMON de la UIS[13] y el Grupo GTI[5] de la UNICAUCA[14], mediante el proyecto SIMEP-SW[12], constituyendo un ejemplo de cómo el modelamiento y simulación en DS y otros enfoques, pueden soportarse mediante la ingeniería del software para alcanzar propósitos más particulares.

En concreto, este segundo trabajo de grado de ingeniería se propone lo siguiente:

- 1) Apoyar la gestión del ciclo de vida de un proceso de software adecuado para el desarrollo en comunidad, mediante una plataforma software sobre internet.
- 2) Apoyar la comunicación y coordinación de los equipos de desarrollo distribuido de la comunidad mediante una plataforma de software sobre internet.

¹ Support Environment for Distributed Software Engineering

3) Finalmente, apoyar la evaluación, monitoreo y control del proyecto de desarrollo en comunidad, mediante la aplicación de un modelo de métricas, que permita valorar las desviaciones en tiempo, esfuerzo y presupuesto del proyecto de desarrollo en comunidad del ESMS-MI.

En la siguiente sección se enuncian las principales características del ESMS-MI propuesto por SIMON.

IV. CARACTERISTICAS DEL ESMS-MI PROPUESTO

A. Introducción

SIMON[10] propone a la comunidad nacional y latinoamericana el reto de asumir colectivamente, el desarrollo de una plataforma software que a partir de la arquitectura concebida para el software EVOLUCION[11], sea extendida funcionalmente mediante diferentes aportes encaminados hacia la concepción e implementación de un software para Dinámica de Sistemas más sofisticado. Esta plataforma ofrecería a la comunidad Dinámico Sistémica, posibilidades de modelado, simulación y colaboración que actualmente no le ofrecen las herramientas de DS que están en el mercado. A continuación se enuncian las características más importantes del entorno.

B. Características Propuestas para el ESMS-MI

Al respecto, SIMON, propone las siguientes:

- El ESMS-MI, permitiría la integración del modelado tradicional de DS con el aporte de otras herramientas matemáticas como la lógica Fuzzy, autómatas celulares, agentes y algoritmos genéticos. También facilitarían el análisis cualitativo de sistemas dinámicos.
- El ESMS-MI proveería a los modeladores de Herramientas de apoyo al proceso de modelado y facilidades para el trabajo colaborativo-cooperativo, sobre una

plataforma Internet.

- Finalmente, el ESMS-MI, proveería de herramientas software que permitan la creación de ambientes apropiados para el mejor uso de los modelos de simulación, por ejemplo para crear ambientes de aprendizaje basados en experimentación. (p.ej: ambientes MAC).

V. APORTES A DEL PROYECTO

Los aportes esperados del proyecto se dividen en las siguientes cuatro (4) categorías:

A. Aportes en Investigación

- 1) Se enriquece el conocimiento mediante el aporte en la discusión sobre desarrollo distribuido.
- 2) Se favorece la motivación sobre la temática del desarrollo distribuido y sus aplicaciones en las comunidades de (i+d).
- 3) Se crean las condiciones para un contexto de conocimiento que permita emprender trabajos de grado y/o tesis de maestría posteriores y de elaborar propuestas ante COLCIENCIAS.
- 4) Induce a la comunidad (i+d) ya conformada a sinergizar para crecer.

B. Aportes en Innovación

- 1) Se apropian y adaptan metodologías (maduras o en proceso de madurez) y tecnologías foráneas a un contexto local, generando soportes novedosos a problemas urgentes.

C. Aportes en Desarrollo

- 1) Se realiza un ejercicio de ingeniería al cubrir todo el proceso de desarrollo de una plataforma software para gestionar proyectos dentro del marco de trabajo de una comunidad (i+d).
- 2) Se conciben diseños arquitectónicos para visionar un entorno de software de modelado y simulación complejo, utilizando buenas prácticas de la ingeniería del software.

D. Aportes para la Comunidad

- 1) El proyecto ya cuenta con una comunidad

interesada en sus resultados (EAFIT, Universidad Nacional, Universidad Industrial de Santander, Universidad del Cauca, Universidad del Magdalena y Universidad de Antioquia), en consecuencia, el proyecto es un puente para la cooperación entre grupos de investigación dispersos geográficamente.

2) Fortalecimiento del Interés Temático en el País sobre la ejecución en comunidad de proyectos distribuidos de desarrollo sobre modelado y simulación.

VI. CONCLUSIONES

Esta sección describe los puntos clave del proyecto, enmarcados principalmente desde la perspectiva de la investigación interdisciplinaria (modelado - simulación e ingeniería del software) y en la comunidad de DS (equipos geográficamente dispersos). Los puntos clave se mencionan a continuación:

1) El desarrollo del proyecto, favorecerá las condiciones ideales para fomentar la participación y colaboración entre equipos de (I+D) en modelado y simulación interesados en optimizar los esfuerzos de desarrollo sobre herramientas software para la representación de conocimiento en varios paradigmas, mediante la reducción de esfuerzos redundantes y aumento del nivel de intercambio sobre las experiencias independientes. En otras palabras, aprovechando la sinergia de la colaboración para capitalizar y optimizar los esfuerzos independientes (no redundantes).

2) Mediante el desarrollo del proyecto al mismo tiempo que se va desarrollando el ESMS-MI, la comunidad (I+D) involucrada se pone de acuerdo sobre las características clave relativas a la representación de modelos que integren diversos paradigmas de representación de conocimiento, con el tiempo llegará la formalización y estandarización, las cuáles traerán entre la comunidad, el uso de un lenguaje común y unificado.

3) La concepción arquitectónica del ESMS-MI, abrirá el debate para que la comunidad (I+D), discuta sobre los requerimientos funcionales que un entorno de esta naturaleza debe proveer.

4) Finalmente se fortalecerá el Interés temático nacional e internacional sobre la ejecución en comunidad de proyectos de desarrollo interdisciplinario sobre entornos de modelado y simulación, mediante el acercamiento de especialistas de otras áreas (matemáticos, estadísticos, ingenieros de software entre otros) al modelado y la simulación.

El espacio está abierto para participar en este emprendimiento que busca el aprovechamiento de una de las fuerzas más poderosas de los sistemas, la sinergia. Esta sinergia puede generarse a partir de las entidades que interesadas en un propósito común, colaboran entre sí. SIMON[10], reitera su llamado a la comunidad latinoamericana y colombiana a unirse y a sinergizar para crecer en comunidad.

REFERENCIAS

- [1] H. Andrade Sosa, C. Rivera Palacios, F. Sarmiento Villamizar, Memorias Segundo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas: Integración Entre la Dinámica de Sistemas y Otras Matemáticas para la Representación del Conocimiento, División Editorial y de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 2004.
- [2] Alcázar, Lubo, Uribe, Zúñiga; Memorias Segundo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas: Integrando Dinámica de Sistemas y lógica Fuzzy, en tiempo de modelado y de simulación, un ejercicio de clase, División Editorial y de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 2004.
- [3] F. Barreto V., Metodología para o Gerenciamento Distribuido de Projectos e Métrica de Software. Universidade General de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Post-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis. Julho de 2002.
- [4] M. Cuellar Yemeris y E. Lince Mercado, Evolución 3.5: Herramienta Software para el Modelamiento y Simulación en Dinámica de Sistemas, Proyecto de grado, Bucaramanga, 2003.
- [5] GTI Grupo de Investigación en Tecnologías de la Información, perteneciente al departamento de sistemas de la Facultad de Electrónica de la Universidad del Cauca. <http://gti.unicauca.edu.co>
- [6] G. Luque, V. Pradilla, Proyecto de grado: 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. 2003.
- [7] H. Marques , R. Ramos, I. Silva, Artículo: "Adaptação de um Processo de Desenvolvimento para Fábricas de Software Distribuídas". Universidade Federal de Pernambuco. Brasil. Disponible en: <http://www.spc.org.pe/ideias2004/>
- [8] C. Rivera Palacios, F. Sarmiento Villamizar, Proyecto de grado: Aplicaciones de un "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. 2005.
- [9] R. Presuman, Ingeniería del Software "Un Enfoque Práctico" 5 Ed. Editorial Mc Graw Hill. ISBN: 0-07-052182-4.
- [10] SIMON Grupo de Investigación en modelos y simulación de la Universidad Industrial de Santander. Disponible en : <http://www.uis.edu.co/site/investigacion/grupos/simon/index.html>
- [11] Software EVOLUCION para el modelamiento y simulación en dinámica de sistemas. Grupo SIMON de investigaciones en modelos y simulación de la Universidad Industrial de Santander. – UIS - Bucaramanga. Disponible en : <http://www.uis.edu.co/site/investigacion/grupos/simon/software/evol.html>
- [12] Proyecto "Sistema Integral para el mejoramiento de los procesos de software" – SIMEP-SW. Grupo GTI de la Universidad del Cauca y COLCIENCIAS. Director: Esp. Julio A. Hurtado. <http://www.unicauca.edu.co/~ahurtado/>
- [13] Sitio Web de la Universidad Industrial de Santander. Disponible en: <http://www.uis.edu.co/>
- [14] Sitio Web de la Universidad del Cauca. Disponible en : <http://www.unicauca.edu.co/>
- [15] YANKEE Group. Forum: Creating and Delivering Value with Collaborative Software Development Tools. September 2003. Disponible en: <http://www.yankeegroup.com>.

Autores

ANDRADE Hugo H. Director del grupo SIMON de investigaciones de la escuela de sistemas de la universidad industrial de santander en Bucaramanga – Colombia. Con una amplia experiencia en el campo de la dinámica de sistemas y los entornos de modelamiento y simulación.

MORENO Jorge J. Miembro del Grupo de Investigación en Tecnologías de la Información – GTI de la Universidad del Cauca en Popayán. Dirigió recientemente el proyecto "COMUNIDAD VIRTUAL DE NEGOCIOS PARA EL CAUCA - CVN" patrocinado por UNICAUCA y COLCIENCIAS. Actualmente participa como investigador del proyecto SIMEP-SW (Proyecto para un Sistema Integral de mejoramiento de los procesos de software), en el cual se desarrolla su tesis de maestría en cooperación con SIMON. Sus áreas de interés son : Ingeniería del Software, Desarrollo Distribuido de Software y Comunidades Virtuales en Internet.

Dinámica de sistemas para la transformación de las instituciones, el cambio económico y el desarrollo social

Dyner, Isaac

idyner@unalmed.edu.co

Instituto de Sistemas y Ciencias de la Decisión
Universidad Nacional – Sede Medellín

Resumen— En este corto artículo se emprende el dificultoso trabajo de evaluar las posibilidades de utilizar Dinámica de Sistemas para examinar temas tan amplios y complejos como lo son la transformación de las instituciones, el cambio económico y el desarrollo social. Por supuesto que aquí no se agota la temática, pero si, efectivamente, se llama la atención acerca de la importancia de estos asuntos, se plantea su pertinencia para nuestras comunidades y se inicia la discusión de la relevancia de instrumentos metodológicos en el seno de la sociedad Latinoamericana de Dinámica de Sistemas.

En este sentido, se plantea, en términos generales, asuntos que lindan con los cambios institucionales y sus efectos sobre el comportamiento de las organizaciones. Se incorporan, con una mirada acerca del desarrollo, teorías que incluyen los capitales (o recursos) de las comunidades y que pueden comprender indicadores que van más allá de los clásicos: Ingreso per capita o distribución de la riqueza. Además se establece cómo el pensamiento sistémico y evaluaciones a través de simulación pueden favorecer la definición de buenas políticas para la asignación de recursos. Finalmente se discuten algunos temas particulares de investigación.

I. INTRODUCCIÓN

Aunque ambicioso, este artículo pretende iniciar el análisis del papel que la Dinámica de Sistemas (DS) puede jugar en temas de tanta trascendencia como lo son la transformación institucional, el cambio económico y el desarrollo social. Aunque analizado en otras situaciones y contextos, este artículo re-visita esta temática por cuatro razones principales: su importancia, su pertinencia, el entorno actual y lo subalterno de la temática en el ámbito mundial.

Aunque la DS ha irrumpido con éxito notable en el ámbito de los negocios, su potencial no ha mostrado similar despliegue en otros campos socio-económicos, sin que esto quiera decir que su impacto haya sido reducido. Mostraré que, contrario a

lo acontecido en el ambiente de los negocios, en estos aspectos la DS no ha tenido el mismo nivel de avance e impacto.

De todas formas, la investigación en temas de desarrollo sostenible, con el apoyo de DS, es insuficiente. Lo evidenciamos, no solo porque en términos relativos se reporta en mucha menor escala, sino porque además se cuenta con menos interés y recursos de los que existen para asuntos que aportan mayor beneficio a los temas de industria y empresa en los países industrializados.

Pero es importante anotar que DS es fundamentalmente una aproximación apropiada para ayudar a entender el mundo en desarrollo y muchos de los problemas claves que lo aquejan. Lo es porque DS incorpora los conceptos de realimentación y retardo, y además porque evidencia acumulación en los sistemas. También lo es porque los términos de la evolución no corresponden a estados estables que podamos conocer con precisión suficiente y de manera anticipada. Y además lo es porque no existen formulas únicas, fiables y universalmente aceptables para lograr “el desarrollo” de las naciones. En estos casos, entonces, nuestra capacidad predictiva es precaria y de poca utilidad.

Esto es evidente, por cuanto, al avanzar en la senda del desarrollo, los procesos son realimentados por decisiones de política (de refuerzo y/o de corrección) y por *evoluciones complejas* de los sistemas que son imposibles de anticipar, por las no-linealidades y los retardos presentes.

Es en este sentido como la DS puede, y esto ha sido identificado a través de las experiencias de décadas, resultar apropiada. Pero DS puede también resultar apropiada para entender situaciones presentes en sistemas desarrollados, a diferencia de gran parte de los instrumentos y metodologías que han sido diseñados para apoyar *problemas de lo desarrollado*, que en muchas circunstancias resultan inadecuados para atender “nuestras dificultades”. Esto se ampliará en este artículo.

II. LA RAZÓN DEL ARTÍCULO

Se está acaso insinuando una ciencia y aproximaciones metodológicas para remediar los problemas del mundo en

desarrollo? De ninguna manera. Lo que realmente se está planteando es el perfeccionamiento y la difusión de instrumentos que pueden ser indicados para muchas de las dificultades de las comunidades en desarrollo. La fortuna es que estos también, en muchas ocasiones, pueden ser adecuados para entender problemas de los países industrializados.

Con el caso de la teoría económica de equilibrio general podemos ilustrar el caso contrario. La teoría económica de equilibrio general resulta inadecuada para ser aplicada en mercados cambiantes como los actualmente propuestos para el manejo de los servicios públicos (tanto en los países desarrollados como los que se encuentran en desarrollo): en particular los mercados de la energía eléctrica y de la telefonía. También resulta la teoría de equilibrio general inadecuada para entender los procesos de transformación y cambio.

No es comprensible entonces la razón de la aplicación de esquemas que difieren tanto de la realidad. No lo es porque no es razonable utilizar modelos de equilibrio general para entender los procesos de cambio o desarrollo. Pero lo más sorprendente es que esto se haga aun cuando se conocen alternativas metodológicas. En este sentido, no se encuentra apropiado utilizar esquemas estáticos para “explicar” sistemas en evolución, con argumentos como: los resultados pueden servir como marco de referencia.

La aproximación neo-clásica padece de tres deficiencias fundamentales: asume que no existe fricción, es estática y no considera la intencionalidad del hombre (North, 2005). Esto quiere decir que: primero, los mercados operan sin intervención alguna y con costos de transacción despreciables; segundo, no considera la dimensión del tiempo; y tercero, no tiene en cuenta la intencionalidad de los individuos. Poco sentido tiene, entonces, aplicar la aproximación neo-clásica a situaciones en proceso de evolución y transformación y por esta razón debe buscarse instrumental apropiado y:

- Teorías sociales y económicas para entender la evolución
- Teorías de la administración para entender las transformaciones
- Teorías económicas para develar el cambio y el desarrollo
- Teoría de juegos para explicar las estrategias de los agentes
- Aproximaciones fundamentadas en simulación para evaluar escenarios
- Algoritmos genéticos para examinar posibles evoluciones de los sistemas, y
- Autómatas celulares, entre otros, para evaluar el resultado de comportamientos.

Para esto North (2005) sugiere una aproximación complementaria que considere la cantidad y calidad de los humanos, el stock de conocimiento y el cambio institucional. Esta aproximación debe considerar los procesos de acumulación y de cambio como se aprecia en procesos de realimentación presentes en las situaciones reales (North, 2005):



Ahora bien, enfocándonos en los países en desarrollo, parecería que resulta entonces útil encauzarnos por el papel que pueden jugar los siguientes elementos en los procesos de transformación:

- La educación y el aprendizaje
- La tecnología
- Los recursos físicos
- Los recursos naturales
- El capital social
- Otros recursos: humanos, financieros, ambientales
- etc.
- Las instituciones
 - Los mercados
 - La justicia

En este campo, la estrategia de investigación puede beneficiarse del estudio de problemas particulares relacionados con el crimen, el empleo, la educación, la comunicación, la energización y en general, los instrumentos que favorecen el desarrollo.

Con el fin de superar los problemas de la aproximación neo-clásica y facilitar el estudio de sistemas en transformación y cambio, se presentan dos propuestas metodológicas: una para la representación y otra para evaluación de políticas.

III. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REPRESENTACIÓN

Para la representación con fines de evaluación de políticas, se han preferido aproximaciones estadísticas o de optimización, valiéndose del supuesto fundamento científico que hace parte de la economía neo-clásica: “Los agentes son optimizadores”. Además, se ha optado de manera generalizada por hacer uso de la econometría para examinar “la validez de hipótesis teóricas”, aún cuando puedan no existir las condiciones apropiadas para su aplicación, por ejemplo bajo condiciones de cambio.

Existen, sin embargo, aproximaciones alternativas. DS se ha empleado en forma exitosa en el ámbito de los negocios – su aplicación ha sido amplia y los resultados favorables. Business Dynamics e Industrial Dynamics (Forrester, 1961; Sterman, 2002) han sido *best sellers* en este campo. Los logros de DS se muestran principalmente al facilitar el diagnóstico y la posible solución a problemas que puedan estar presentándose en sistemas industriales en evolución.

Pero que acontece con la aplicación de DS en otros ámbitos? No sucede lo mismo con temas como *development dynamics o dynamics of sustainable livelihood*. Y tampoco con aquellas que puedan tener un sentido menos propositivo como *poverty*

dynamics o crime dynamics. Sin duda, en estos campos de lo social, de lo ambiental y del desarrollo también se cuenta con avances, pero nuestra inquietud reside en el poco impacto que han tenido y la reducida atención relativa con que han contado. Por qué los sociólogos, los economistas y los ambientalistas no tienen una mirada más positiva hacia la DS?

La respuesta es mixta. Se utiliza DS pero nunca se ha adoptado de manera decidida. En general el uso de métodos de simulación no siempre ha sido amplio y en muchos casos se ha adoptado de manera limitada. De todas formas no se excluye explícita y deliberadamente a la DS.

Se ha considerado que los métodos de simulación son tautológicos pues sus suposiciones pueden producir los resultados que se deseen obtener. Se considera además que en general, por su forma común de utilización de modelos de gran tamaño, puede también mezclar cantidad de efectos que no son claramente explicados y que esconden lo que realmente esta sucediendo en los sistemas. Y además no se considera que los procesos de validación sean lo suficientemente científicos.

Con la incorporación de Pensamiento Sistémico (PS) - a la DS - se ha logrado una simbiosis importante entre las dos metodologías. La DS se beneficia de una aproximación sistémica integral en conceptualización de los problemas y en su correspondiente diagnóstico, así como el aporte que ya tenía DS, de manera clásica, en materia de simulación.

La *buena práctica* con DS ha mostrado como superar las aparentes deficiencias de la simulación. DS facilita la evaluación de alternativas para la implantación de “buenas soluciones”, y además puede contribuir a dilucidar, entre otros, los efectos que tienen sobre los sistemas:

- los ciclos de realimentación de la información
- los retardos en la toma de decisiones y
- la acumulación en las variables de estado

PS y DS, cuando operan juntas, superan los problemas que imponen otras aproximaciones socio-económicas y la visión de la no-transformación y el no cambio. Ellas pueden contribuir a examinar en sistemas socio-económicos los efectos de:

Los incentivos
Las estructuras
Los cambios en las creencias y
Las limitaciones existentes

Adicionalmente el aporte de DS para pensar y actuar sistémicamente es especialmente útil y ventajoso. También la científicidad de la DS puede radicar en su examen de:

- Las hipótesis dinámicas que se planteen
- La comprobación o no de la racionalidad de los agentes
- El descubrimiento de comportamiento cotraintuitivo

Igualmente, DS ha mostrado aportes importantes en procesos de aprendizaje, en varias direcciones, principalmente a través de los procesos propios de modelamiento y, también, por medio de micromundos para apoyar el aprendizaje, como se ha ilustrado extensamente en la literatura (Morecroft, 1988)

La agenda resulta entonces extensa. Se trata de apropiar estas ideas alrededor de entornos que faciliten el desarrollo. Lejos de intentar ser exhaustivo, propongo avenidas de investigación que pueden contribuir a una diferenciación de nuestro trabajo, dentro de las condiciones propias que existen en los países en vía de desarrollo, con respecto a la actividad que se lleva a cabo en la comunidad global de DS y con respecto a otras aproximaciones metodológicas. No obstante el camino esta abierto a los temas más clásicos que se abordan con mucha fundamentación en el mundo industrializado y que también traerán beneficio académico y práctico a nuestras comunidades.

IV. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA APOYAR POLÍTICA SOCIAL

Pensamiento sistémico, modelamiento mental y sus vertientes hacen parte del instrumental que se pueden considerar para complementar los instrumentos clásicos de soporte a la evaluación de políticas económicas y sociales.

Se ilustra cómo la DS puede servir de apoyo a entender el cambio y las transformaciones sociales. En este artículo se plantean algunos retos específicos que se tienen con la ayuda de DS. Se ilustran aplicaciones en donde están presentes:

Esquemas de decisión y de política
Escenarios futuros e inciertos
Esquemas para medir variables de desarrollo
Elementos que puedan contribuir a reducir la pobreza
Los aceleradores o propiciadores del desarrollo, y
Los problemas de los mercados en países en desarrollo

V. ALGUNOS FACTORES DE DESARROLLO

Si fuese tan fácil establecer cuáles son los problemas que enfrentan los países para lograr el desarrollo y esto lo pudiésemos presentar claramente en este artículo, pues, en lo fundamental, el asunto estaría resuelto. Es por esto que resulta un poco más fácil, aunque no obvio, tratar algunos elementos que pueden contribuir al desarrollo y que, de ser planteados correctamente, difícilmente entrarían en conflicto con otras intenciones no contemplados aquí.

La educación, la justicia y la salud son fundamentales para las comunidades. Las instituciones y el manejo de los recursos contribuyen al desarrollo de la sociedad. Todos ellos contribuyen a incrementar los capitales, bienes o activos de las comunidades, particularmente los capitales social, humano, financiero, físico y ambiental.

El cambio económico consiste en el cambio material y físico del bienestar de los humanos. Esto es concebido de manera tanto tangible como intangible (North, 2005) - el stock de conocimiento es un determinante fundamental en estos aspectos. North (2005) indica que el stock de conocimiento, instituciones y factores demográficos determinan el proceso de cambio económico.

Investigación y desarrollo está comprendida como elemento fundamental, en cuanto contribuye a incrementar el stock de conocimiento. Y lo está pero deberá enfatizarse si se pretende acelerar el desarrollo, reduciendo la pobreza, y propiciando oportunidades para las comunidades.

Parecería, entonces, que DS puede aportar aproximaciones metodológicas a la mirada de North (2005) para estudiar la transformación de las instituciones, el cambio económico y el desarrollo social. No obstante existen limitaciones que deben considerarse.

VI. POTENCIALIDADES Y LIMITACIONES DE LOS MODELOS MENTALES

Los modelos mentales resultan de procesos de elicitación de conocimiento. Ellos contribuyen a establecer las creencias y percepciones de los integrantes de los grupos humanos. Estos modelos mentales se pueden compartir al hacerlos explícitos (Senge, 1990). No obstante ellos son sólo las verdades que residen en la mente de quienes los poseen pero no necesariamente se constituyen en verdades científicas y ni siquiera en creencias que sean compartidas por otros individuos.

En el aprendizaje no tutorado he observado con preocupación la construcción de modelos, fundamentados en creencias y especulaciones. Así se hace frecuentemente. El problema es determinar el alcance de los mismos. Ellos pueden parecer inicialmente válidos para quien lo construye y para sus vecinos, pero pueden no tener fundamento cuando se sale del círculo de quienes lo comparten.

En este sentido, se hace necesario cotejar y corroborar el conocimiento de los individuos y los grupos para determinar su validez. Es por esto que los modelos de DS deben enfrentar procesos de confrontación y validación.

En cuanto a creencias acerca de la posible evolución de los sistemas existen dificultades por las complejidades inherentes entre las interacciones contenidas en los mismos, por el peligro de las no-linealidades, entre otros (Lomi, et al, 1997). Es por esto que los modelos mentales, previamente validados, pueden beneficiarse de simulaciones.

Como punto de interés. En contra de las nuevas tendencias de la economía, existe la tentación de revivir modelos pasados. Por qué la liberalización económica total no es beneficiosa para nuestra región? Cuáles son los límites? Será posible que

la DS contribuya a dilucidar las bondades de su aplicación regional? O establecer su posible perjuicio?

VII. LOS TEMAS DE INVESTIGACIÓN

En las temáticas de aplicación existe gran cantidad de posibilidades y retos en asuntos relacionados con:

- Economía institucional
- Desarrollo (Economía del desarrollo)
- Empresa e industria en países en desarrollo
- Inversión en infraestructura
- Conflicto y violencia
- Pobreza

El desafío es incursionar de manera profunda e intentar construir teorías que explican el cambio económico. Adicionalmente, identificar los elementos y mecanismos particulares que inducen o propician el cambio. Ahora, mientras se descubren estas verdades, si ellas existen, el trabajo puede seguirse haciendo de manera incremental, sin perder de vista los grandes hitos.

En este campo se observa que los temas de infraestructura en los países en desarrollo pueden requerir especial atención a través de esquemas diferentes a los utilizados en econometría y optimización.

La simulación (y el paradigma estructura induce comportamiento) puede mostrar mejores arreglos que conlleven a soluciones eficientes. De esta manera se pueden estudiar cambios en reglas para observar comportamiento deseados (trabajos de regulación, política...).

A continuación se presenta alguna experiencia acumulada de la práctica que se ha tenido con DS en países en desarrollo y que puede serle útil para los novicios en el tema o aquellos que pudieron haber tenido afinidad con otras temáticas de aplicación.

En primer lugar, se ha encontrado que algunos esquemas de representación han sido especialmente útiles para asuntos de modelamiento. En general, más allá de representaciones de la línea de la pobreza (línea de pobreza - ingreso inferior a US\$1 o US\$2 diarios) se han encontrado especialmente útil los esquemas relacionados con capitales (o recursos) de las comunidades que incluyen: Capital social, humano y otros

Segundo, existe una relación estrecha entre innovación y desarrollo. Ha habido intentos en la literatura para explicarla. Los economistas no han encontrado verdades absolutas a este respecto. Existen valiosa investigación con DS que parece estar dando luces a este respecto.

Tercero, muchos países en desarrollo poseen importante capital natural. Su aprovechamiento de manera sostenible resulta muchas veces dificultoso por las mismas razones de rezago económico. Por ejemplo en lo concerniente a

infraestructura para el turismo o la amenaza de la violencia para los inversionistas. La forma de romper estos círculos viciosos no es trivial. El examen de políticas con el apoyo de pensamiento de sistemas puede ser importante para identificar dinámicas que puedan contribuir a dilucidar estos asuntos. Se puede examinar también cómo ciertas incertidumbres que se relacionan con los temas de medio Ambiente y el desarrollo de la tecnología.

Cuarto, el conocer los fenómenos de violencia puede contribuir de manera significativa al planteamiento de esquemas de desarrollo. Los modelos econométricos y sociológicos no parecen ser completos. DS parece poder contribuir de manera importante, tendiendo puentes entre las diferentes aproximaciones existentes.

Quinto, para determinar y entender los procesos de toma de decisiones se ha encontrado especialmente interesante la idea de la elección del consumidor (consumers' choice). Se ha encontrado, sin embargo que los supuestos económicos de racionalidad del consumidor no se cumplen. DS ha mostrado avances incorporando conceptos de racionalidad limitada en la elección de tecnologías eficientes (Dyner y Franco, 2004).

Sexto, la compensación y liquidación que ocurren en los mercados no implican condiciones de equilibrio. DS puede lograr representaciones de estas condiciones en los mercados sin asumir equilibrios en los mismos. Esto ha resultado especialmente útil para los casos de economías en desarrollo y de industrias en procesos de transformación.

Existen otros ejemplos que ilustran los aportes de DS en este campo y estamos lejos de agotar el tema.

VIII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este artículo se indica el potencial de investigación que existe en DS para resolver problemas cercanos a aquellos que afectan principalmente a los países en desarrollo. En este sentido, aunque no se pretende ser exhaustivo, se plantean algunas avenidas de trabajo que puede ser novedoso y relevante para las comunidades que nos rodean.

No se sugiere sin embargo, abandonar, los temas de investigación que están a la orden del día en la comunidad internacional, pero sí se plantean trabajos adicionales o complementarios que se enfoquen en temáticas relevantes para las comunidades de los países en desarrollo.

Se establece, basado en el reciente trabajo de North (2005), cómo puede estudiarse, con fundamento en el neo-institucionalismo, condiciones para el cambio económico. Esto lleva a aproximaciones que consideran variaciones en las instituciones (organizaciones y reglas) que pueden propiciar el progreso de las comunidades. Este trabajo, con ayuda de simulación (y el paradigma estructura induce comportamiento), puede mostrar mejores arreglos que

conlleven a transformaciones e incrementos en eficiencia para las organizaciones.

Se plantea, en general, una temática amplia de investigación de problemas socio-económicos con foco en países en desarrollo. Asuntos particulares y relacionados con esto incluyen aspectos de la mirada multidimensional que es beneficioso contemplar, incluyendo los capitales o activos de las comunidades.

Como temáticas particulares se indica la variedad de tópicos que puede ser interesante estudiar en este campo, incluyendo problemas de educación, salud, vivienda y en general, de infraestructura. Además con ayuda de pensamiento sistémico se puede contribuir a examinar de manera más holísticamente asuntos de conflicto y violencia, lo que puede asistir a las comunidades en el examen de políticas sociales.

IX. REFERENCIAS

- Dyner, I., Franco, C. 2004. Consumers' bounded rationality: the case of competitive energy markets. *Systems Research and Behavioral Science*. Vol 21 pp 1-17
- Forrester, J. 1961. *Industrial Dynamics*. MIT Press.
- Lomi, A., Larsen, E., Ginsberg, A. 1997. Adaptive learning in organizations: A system dynamics-based exploration. *Journal of management*. 23,4: 561-582
- Morecroft, J. 1988. System Dynamics and Microworlds for policymakers. *European Journal of Operational Research* 35, 3:301-320
- North, D. 2005. *Understanding the process of economic change*. Princeton University Press.
- Senge, P. 1990. *The fifth discipline*, Doubleday.
- Sterman, J. 2001. *Business Dynamics*. McGraw Hill.

Trayectorias de desarrollo y crecimiento, un análisis sistémico.

Soto Torres, M^a Dolores y Fernández Lechón, Ramón.
{lolasoto, ramonfer}@eco.uva.es
Universidad de Valladolid (España)

Resumen— El objetivo de este trabajo es construir un sistema dinámico, utilizando la metodología de la Dinámica de Sistemas, para analizar la influencia que variables como capital físico, capital humano y progreso tecnológico tienen sobre las trayectorias de crecimiento y desarrollo en economías. La estructura del sistema dinámico se forma teniendo en cuenta las reglas de decisión que individuos y empresas siguen en una economía genérica. La cuantificación de las relaciones causa-efecto permite obtener una dinámica que se muestra diferente dependiendo del ajuste para algunos parámetros estructurales y comprueba la capacidad del sistema para reproducir ciertos resultados empíricos. De este modo, la perspectiva de la retroalimentación nos abre una vía para explicar las formas cualitativas y cuantitativas que pueden seguir las trayectorias de crecimiento y desarrollo en diferentes países.

Palabras clave: Cambio tecnológico Crecimiento y desarrollo, Modelización Retroalimentación.

I. INTRODUCCIÓN

Durante siglos el crecimiento de las economías en todas las regiones del mundo fue lento, con grandes periodos de estancamiento caracterizados por un insignificante desarrollo. No obstante, a partir del siglo XIX se constata que la economía mundial crece e incluso presenta un crecimiento acelerado, aunque no siempre muestre la misma tendencia y esté desigualmente distribuido por regiones, pues si bien, a principios del siglo XIX ciertos países del Oeste de Europa y de América del Norte comenzaron a crecer y nunca pararon, países del Este de Asia no comenzaron a crecer hasta la mitad del siglo XX y en la actualidad estas regiones presentan los mayores crecimientos mundiales; por el contrario, las tasas de crecimiento de un gran número de regiones han sido muy modestas a lo largo de la historia.

La emergencia y subsiguiente evolución de los procesos de crecimiento impulsó numerosos estudios, tanto teóricos como empíricos, para intentar determinar qué factores explicarían las

diferencias de renta per capita entre países. En el momento actual, como la bibliografía relativa al crecimiento económico es muy extensa, existe un amplio espectro de alternativas que justifican los factores a considerar y su grado de influencia en el proceso.

Es ampliamente reconocido que la acumulación tanto de capital físico como humano es fundamental para impulsar los procesos de crecimiento, ya que sin capital físico no es posible llevar a cabo un proceso productivo y sin un nivel apropiado de capital humano es imposible impulsar el desarrollo, debido a la influencia que este factor tiene sobre la productividad de los individuos en el mercado laboral. Por ello las trayectorias de crecimiento y desarrollo, que siguen distintos países, podrían justificarse por la manera en que se llevan a cabo los diferentes procesos de acumulación de estos dos tipos de capital. En el influyente artículo de Mankin, Romer and Weil (1992) se afirma que alrededor del 78% de las variaciones internacionales en renta per capita podrían explicarse por las diferencias que presentan las economías en la composición de estos dos tipos de capital. Sin embargo, no todos los autores están totalmente de acuerdo con las conclusiones de este estudio, por ejemplo, Hendricks (1999) duda del resultado, si se pretende extender a cualquier país, al constatar que trabajadores con similares niveles de capital humano tienen diferentes productividades dependiendo del país donde desarrollen su trabajo.

Junto a la acumulación de capital físico y humano, en la literatura pueden encontrarse argumentos para tener en cuenta otros factores que afectan al desarrollo de ciertas regiones: el crecimiento de la población, el clima, aspectos culturales o incluso creencias religiosas. No obstante, en un contexto general, hay un amplio

consenso en mantener que la clave para explicar el crecimiento sostenido en las economías es el progreso tecnológico. En este aspecto, Peretto (1999) afirma que son las propias economías las que tienen que impulsar cambios estructurales y realizar las correspondientes inversiones para provocar resultados de investigación que generen un cambio tecnológico desde dentro, con objeto de que la economía vaya atravesando etapas hasta alcanzar un crecimiento sostenido. Lloyd-Ellis and Roberts (2000) explican que tanto el progreso tecnológico como la acumulación de capital humano son necesarios para mantener un crecimiento sostenido, aunque mantienen que ninguno de estos elementos considerado aisladamente es suficiente, ya que para impulsar el progreso técnico se requiere un nivel de capital humano y, a su vez, la innovación tecnológica potencia y alienta el aprendizaje. Kosempel (2004) enfatiza la importancia del cambio tecnológico en el estudio del crecimiento a largo plazo, al afirmar que una economía será capaz de mantener un desarrollo sostenido si el cambio tecnológico y el capital humano siguen la misma senda de crecimiento.

Estas referencias avalan que el crecimiento de las economías es consecuencia de las interrelaciones de distintas variables que provocarían procesos de acumulación capaces de explicar su evolución dinámica. La complejidad real del proceso de crecimiento, así como su carácter esencialmente dinámico, son aspectos determinantes para poder llevar a cabo su estudio utilizando la metodología de la Dinámica de Sistemas. El objetivo de este trabajo es construir un sistema dinámico capaz de capturar las interrelaciones entre distintas variables soportes del crecimiento, y desde él llegar a obtener una dinámica que nos permita comprobar si nuestro modelo es capaz de reflejar los hechos que sugieren ciertos resultados empíricos (ver Barro y Sala i Martín, 1992) que afirman que países con similares preferencias y tecnología deberían converger al mismo nivel y tasa de crecimiento de renta per capita, aunque las trayectorias durante el periodo de transición no sean idénticas, pues mientras que algunas economías pueden crecer rápidamente en los primeros años de su desarrollo y posteriormente

sus crecimientos se moderen, otras pueden crecer más lentamente al principio y después, en un relativo corto periodo de tiempo, alcanzar un crecimiento sostenido.

Para nuestro estudio nos basaremos en propuestas formuladas por Romer (1990), Peretto y Kosempel. En particular, los límites de nuestro sistema se determinan considerando una economía cuyas características generales siguen planteamientos de Romer; la estructura del mercado coincide con la planteada por Peretto, aunque como Kosempel consideraremos la influencia que el capital humano tiene en el sector productivo, así como la relación de causalidad entre el cambio tecnológico y la acumulación de capital humano. Parece importante destacar, que si bien estos autores utilizan técnicas de optimización para encontrar la dinámica de sus modelos, nosotros seguiremos una aproximación distinta para el mismo objetivo al utilizar un enfoque sistémico.

La estructura de nuestro sistema surge al tener en cuenta las reglas de decisión de los distintos agentes que actúan en una economía genérica, por una parte, los individuos y por otra, un mercado potencialmente ilimitado en el que participan un conjunto de productores intermedios y un productor final. Los individuos influirán sobre la acumulación de capital físico y humano y el sector intermedio, influirá tanto en las rentas de los individuos como en el desarrollo tecnológico de la economía; el productor final, por su parte, actuará tratando de obtener los mayores rendimientos de su producción. Las interrelaciones que surgen entre las decisiones de estos agentes resultan fundamentales para explicar el aspecto cualitativo y cuantitativo que muestran las trayectorias de las tasas de crecimiento en la economía.

El resto de este trabajo está organizado como sigue. Los límites del entorno económico en el que los agentes actúan y el análisis de las relaciones causales que surgen por sus decisiones son abordados en la segunda sección. En la tercera sección, se cuantifica el grado de las influencias causales mediante la formulación de las variables

que constituyen el diagrama de niveles y flujos. En la cuarta sección, después de proporcionar valores a los parámetros y condiciones iniciales para los niveles, se muestran y se comparan los resultados obtenidos por simulación para tres economías con distintas estructuras y, finalmente, la última sección se ocupa de destacar los aspectos más relevantes encontrados en el desarrollo de este trabajo.

II. EL ENTORNO ECONÓMICO

Consideramos una economía en la que actúan: individuos, un sector de bienes intermedios y el productor de un bien final. El sector intermedio está constituido por un conjunto de empresas que producen distintos bienes, utilizando capital físico, tecnología y factores del mercado de trabajo. Estos bienes no se consumen y sólo se utilizan para la producción del bien final, cuya producción se identifica con la producción de la economía y, por tanto, su tasa de crecimiento será la tasa de crecimiento económica.

A. Interrelaciones entre las decisiones de los individuos y los sectores productivos

En un horizonte temporal ilimitado, dividido en intervalos, cada individuo dispondrá de una cantidad máxima de tiempo de no ocio durante cada intervalo. Un porcentaje de esa cantidad puede invertirse en aprendizaje, entendiendo esta variable en el sentido más amplio posible, y el resto se dedicará al mercado laboral. El capital humano aumenta si el tiempo dedicado al aprendizaje aumenta, aunque sus variaciones dependerán del nivel de capital humano que posean los individuos así como del nivel tecnológico en la economía. Si bien la influencia del capital humano en su propia producción ya fue propuesta por Lucas (1988), la influencia de la tecnología se justifica al considerar que esta variable promueve nuevas posibilidades de aprendizaje y, en este aspecto, podemos citar a Heckman and Klenow (1997) cuando argumentan que en numerosos países el nivel educativo es alto como consecuencia del alto nivel tecnológico.

Mientras que el tiempo dedicado al mercado laboral es remunerado, el tiempo que los individuos

invierten en acumular capital humano carece de remuneración; no obstante, las empresas necesitan, para llevar a cabo su producción, que los individuos posean un nivel de capital humano acorde con el nivel tecnológico para potenciar la productividad de su trabajo. La idea es la siguiente, si los individuos tienen un alto nivel de capital humano, esto es, disponen de mucha capacitación profesional, podrán mejorar, al menos ligeramente, su rendimiento en el trabajo a pesar de que el nivel de tecnología en la economía sea bajo; sin embargo, aunque la economía disponga de una alta tecnología, los individuos no obtendrán mejores resultados en el desarrollo de su trabajo si carecen de una capacitación apropiada.

La calidad del trabajo determina cómo realmente los individuos pueden operar en el sector productivo y la adecuación entre sus conocimientos, su capital humano, y el nivel tecnológico en la economía, nos proporcionará una medida de esta variable. Si el capital humano aumenta, la calidad del trabajo aumenta si se mantiene constante el nivel de tecnología y si es esta última variable la que aumenta, manteniéndose constante el capital humano, entonces la calidad del trabajo disminuye; el crecimiento de la ratio capital humano-tecnología, es la que propiciará el crecimiento de la productividad de los trabajadores.

El número de unidades eficientes utilizadas en la producción intermedia se determina considerando conjuntamente la productividad y el porcentaje de tiempo que dedican los individuos al mercado laboral. La remuneración de cada unidad eficiente se fija por el sector intermedio y los individuos obtienen rentas del trabajo, aunque también rentas de capital, ya que por un lado, reciben los intereses de su riqueza acumulada, que es prestada al sector intermedio en cada ciclo de producción, y por otro, tienen posibilidades de recibir dividendos por ser propietarios de las empresas de ese sector. Las rentas de trabajo y de capital obtenidas por los individuos se acumularán a su riqueza, que puede consumirse totalmente o parcialmente. La riqueza no consumida en un periodo productivo se vuelve a

prestar al sector intermedio, comenzando un nuevo ciclo de producción.

Los primeros ciclos de retroalimentación que conforman la estructura de nuestro sistema son consecuencia de las decisiones de los individuos. Supondremos que los individuos consumen un porcentaje de su renta dependiendo de su propensión marginal al consumo. Si bien esta decisión es admitida en numerosos modelos macroeconómicos, la decisión acerca del tiempo que dedican al mercado laboral envuelve otras alternativas. Proponemos, por una parte, considerar el coste de oportunidad teniendo en cuenta que si un individuo invierte tiempo en aprendizaje será porque espera en el futuro recuperar, como mínimo, las rentas de trabajo no recibidas durante el periodo de aprendizaje; ahora bien, también los individuos desearán que sus rentas de trabajo no disminuyan con el paso del tiempo, pues ello podría afectar a su nivel de consumo e incidir sobre su nivel de riqueza, y además, relacionado con esta última hipótesis de comportamiento, los individuos desearán dedicar tiempo al estudio para mantener una productividad en el trabajo, pues la pérdida de calidad actual influirá sobre las ganancias de trabajo futuras.

En la figura 1, que incluye los cuatro factores de producción utilizados por el sector intermedio, se puede observar dos ciclos de retroalimentación formados por las decisiones de los individuos.

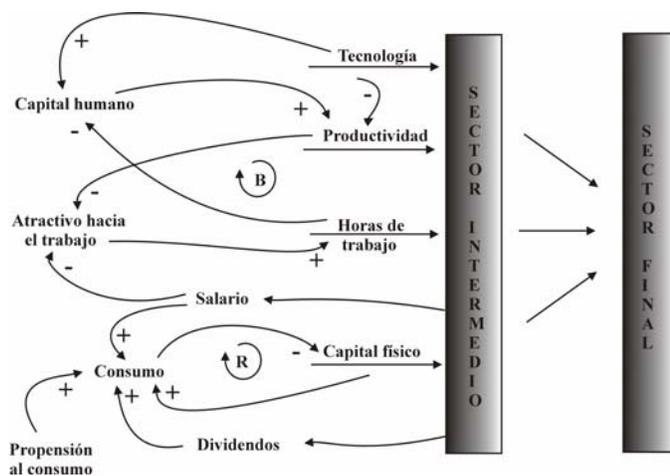


Figura 1. Ciclos de retroalimentación en las decisiones de los individuos

Un ciclo positivo entre las variables productividad, atractivo hacia el trabajo, horas de trabajo y capital humano y otro negativo entre las variables que recogen el consumo y el capital físico.

Esta figura también incluye dos variables, salario y dividendos, influenciadas por las decisiones de las empresas intermedias, que nos permitirán, junto con el análisis de la tecnología, conectar las decisiones de los individuos con las de las empresas y, como consecuencia, ampliar la estructura retroalimentada de nuestro sistema.

B. El productor final

Una sola empresa produce un único producto, utilizando como factores los bienes producidos por las empresas del sector intermedio, vendiéndolo, en un mercado potencialmente ilimitado, a un precio unitario; los precios de sus factores productivos son determinados por las empresas intermedias, de modo que este productor no actúa sobre los precios, y su único objetivo será obtener el máximo rendimiento de su actividad, luego el productor final utilizará todos los bienes que se oferten en el sector intermedio y la producción final crecerá con la producción de cada empresa intermedia, o bien con el número de empresas en ese sector.

C. El sector intermedio

Si la producción del sector intermedio se obtiene utilizando una tecnología con rendimientos constantes de escala, los costes de producción pueden expresarse como una función lineal de la producción final, y si estas empresas, que venden toda su producción al productor final, fijan el precio de sus productos marcando un porcentaje sobre sus costes unitarios y nos olvidamos de los costes fijos, tanto sus costes variables, por la utilización del trabajo y del capital, como su producción puede expresarse en función de la producción final.

El precio de cada unidad de capital físico, la tasa de interés real de la economía, y el salario, el precio de una unidad eficiente de trabajo, utilizados en su proceso productivo pueden obtenerse por su contribución marginal a la producción y ya que los costes variables pueden expresarse en términos del

bien final, tenemos que la tasa de interés y el salario aumentan si la producción final crece y, si esta variable permanece constante, el tanto de interés disminuye si aumenta el volumen de capital físico en la economía; mientras que el salario disminuye si aumenta el número de unidades eficientes de trabajo utilizadas en la producción del sector intermedio.

Debido a la política de precios del sector intermedio, estas empresas obtendrán beneficios que supondremos son distribuidos totalmente entre sus accionistas y entre gastos dedicados a actividades de investigación y desarrollo de sus productos, olvidándonos de la creación de nuevos productos.

El criterio que sigan las empresas en la distribución de sus beneficios tiene consecuencias pues, por una parte, el reparto de dividendos influye sobre la renta que obtienen los individuos que, a su vez, impulsa su consumo con incidencia negativa sobre la acumulación de capital físico y, por otra, dedicar los beneficios parcial o totalmente a actividades de investigación y desarrollo (I+D), implica un impulso al desarrollo de la tecnología que influye positivamente sobre la producción de capital humano, provocando la modificación de distintas variables; también este criterio influye sobre el capital humano y sobre la propia tecnología e implica una alteración en la productividad y como consecuencia se altera la producción en el sector intermedio al variar la cuantía de los factores. Por ello, parece lógico suponer que el criterio de distribución de beneficios tiene que tener en cuenta la contribución que este recurso tiene sobre cada uno de los factores productivos.

Tengamos en cuenta que las empresas intermedias preferirían no tener grandes beneficios pues, si no hay barreras para entrar y salir del sector, grandes beneficios podrían alentar la formación de nuevas empresas, y nuevas entradas al sector provocarían que el precio de estos productos fuera demasiado pequeño y como consecuencia algunas empresas tendrían que abandonarle. Los beneficios, por tanto, condicionarán el número de

empresas en el sector intermedio que, a su vez, influye sobre la capacidad de producción final.

La figura 2 muestra procesos de retroalimentación que surgen por las decisiones de las empresas intermedias en su relación con la producción final. En esta figura podemos observar distintos ciclos de retroalimentación positiva; uno conecta los beneficios con los gastos de I+D, que influyen en la tecnología, que a su vez, tiene influencia sobre las unidades eficientes de capital que actúan sobre la producción intermedia; otro gran ciclo recoge a las variables: beneficios, número de empresas en el sector intermedio, producción final, tasa de interés, costes de producción del sector intermedio, costes unitarios, precios que inciden de nuevo sobre los beneficios. Observemos que también existe un ciclo negativo que envuelve a las variables producción del sector intermedio, costes unitarios, precios, beneficios, gastos de I+D, tecnología, unidades eficientes de capital y de nuevo, la producción intermedia.

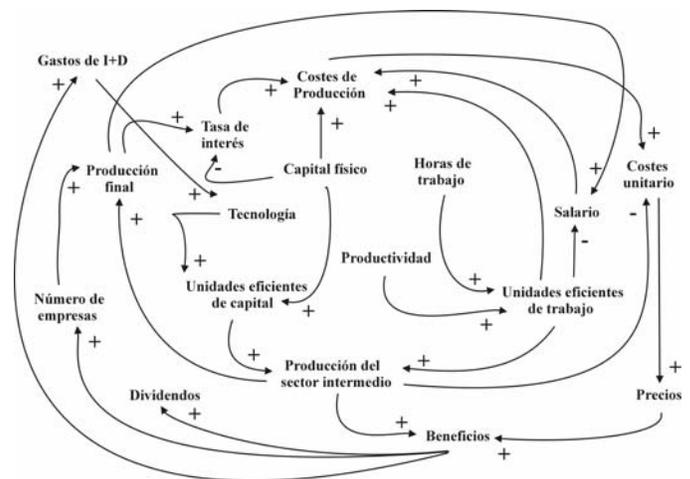


Figura 2. Ciclos de retroalimentación en el sector intermedio

Si conectamos las relaciones causales de las figuras 1 y 2, observamos que la estructura retroalimentada del sistema aumenta y surgen nuevos ciclos de retroalimentación positivos y negativos al incorporar las variables consumo y capital humano.

Los factores que generen qué ciclo o ciclos son dominantes en el sistema, en cada periodo de tiempo, serán los responsables de la evolución que él muestre en el horizonte temporal. Como afirma Sterman (2000), un amplio rango de ciclos de retroalimentación positivos conducen al crecimiento de los negocios y, añade, la evidencia sugiere que la economía como un todo está fuertemente influenciada por ciclos de retroalimentación positiva, pero apunta, que será necesario reforzar aquellos ciclos positivos que conduzcan a exitosos procesos de acumulación.

III. EL DIAGRAMA DE FLUJOS Y NIVELES

Los procesos de crecimiento y desarrollo, como mantiene Ventura (2005), tienen una naturaleza esencialmente no lineal y la formulación de las variables, que integran los distintos ciclos de retroalimentación, tiene que presentar esa característica en nuestro modelado.

Para evaluar el comportamiento del sistema sobre el tiempo construimos un diagrama de flujos y niveles en el que incluimos siete variables de nivel: capital físico, capital humano, tecnología, tiempo dedicado al mercado laboral, número de empresas en el sector intermedio, calidad del trabajo y consumo. Mientras que la acumulación de capital físico básicamente corresponde a trasposos de producción final entre agentes, supondremos que este proceso no requiere ningún periodo de ajuste para poder ser llevado a cabo y este factor fluye por el sistema durante cada ciclo de producción, que supondremos tiene una duración de un año; sin embargo, en la acumulación del resto de los niveles intervienen, de forma más directa, las decisiones humanas y la respuesta inmediata del nivel a variaciones en los flujos no parece tan evidente, por ello los cambios netos en estos niveles proponemos sean promovidos por ajustes a situaciones deseadas.

A. Primeras formulaciones

A pesar de que las empresas intermedias producen distintos bienes y sus requerimientos de producción pueden ser diferentes, supondremos, para facilitar el análisis, que el tiempo dedicado al

mercado laboral por los individuos y su capital físico es distribuido en partes iguales entre ellas.

Comenzamos definiendo dos variables auxiliares que tanto directa como indirectamente afectan a los valores de los diferentes flujos que actúan sobre los niveles.

1. La producción anual de cada empresa en el sector de bienes intermedios es el resultado de la actuación de dos efectos. Uno recoge las aportaciones del capital físico y del nivel tecnológico soportado por la economía durante el proceso productivo y el otro, recoge las aportaciones de los individuos en el mercado laboral:

*Producción de cada empresa intermedia = Efecto del capital y tecnología sobre producción * Efecto del trabajo sobre producción.*

Estos efectos se formulan mediante exponenciales al suponer que la producción intermedia presenta rendimientos constantes de escala:

Efecto del capital y tecnología sobre producción = Unidades eficientes de capital en cada empresa ^{α} ;

Efecto del trabajo sobre producción = Unidades eficientes de trabajo en cada empresa ^{$(1-\alpha)$} ,

donde el parámetro α , adimensional, siendo $0 < \alpha < 1$, indica el grado de sustitución entre las unidades eficientes de capital y las unidades eficientes de trabajo en cada empresa. El efecto del capital y de la tecnología sobre producción intermedia se obtiene combinando el capital físico utilizado por cada empresa intermedia y la capacidad tecnológica de la economía, que definimos mediante un índice que recoge el estado agregado de tecnología en la

economía y que utilizan todas las empresas intermedias en la misma valoración:

*Unidades eficientes de capital en cada empresa = (Capital físico / Número de empresas) * Tecnología.*

La conjunción de capital físico y tecnología nos determina cómo efectivamente actúa el capital en el sector productivo. La definición de este efecto nos indica que se obtendría la misma producción intermedia con la utilización intensiva de capital y baja tecnología que con el uso de menos capital y más alta tecnología y que la producción sería imposible sin la participación de los dos factores. Aumentando las unidades eficientes de capital aumentará la producción, aunque los crecimientos son menos que proporcionales pues el parámetro α es inferior a la unidad. Las unidades eficientes de capital se miden en (producción final /empresas) en cada unidad de tiempo.

Las unidades eficientes de trabajo en cada empresa intermedia son determinadas por:

*Unidades eficientes de trabajo en cada empresa = Productividad * (Porcentaje de tiempo dedicado al trabajo / Número de empresas) * Tiempo máximo de trabajo.*

La productividad indica la cantidad de producción final que cada individuo representativo obtiene por hora, por tanto, sus unidades son (producción final/hora) y todo el efecto se mide en (producción final/empresas) en cada unidad de tiempo.

2. La producción final se obtiene agregando la producción de cada empresa del sector intermedio y considerando el efecto conjunto que todas ellas provocan sobre la producción final:

*Producción final = Producción de cada empresa intermedia * Número de empresas * Efecto del número de empresas sobre la producción final,*

donde el efecto del número de empresas recoge las ventajas de la aglomeración industrial y carece de dimensión. Formulamos esta variable utilizando una función exponencial:

Efecto del número de empresas sobre la producción final = $F^{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}$, (Número de empresas)

donde ε , con $0 < \varepsilon < 1$, es función del grado de sustitución entre los bienes producidos por las distintas empresas intermedias. El parámetro F intenta capturar el efecto concentración en el sector intermedio; si el tamaño de este sector alcanza un valor apropiado, entonces la producción final mejora ya que todas las empresas se beneficiarán de economías de escala.

3. Si las empresas intermedias fijan un precio para su producción en proporción a sus costes de trabajo y capital, podemos expresar los precios de los factores utilizados en su producción y los beneficios del sector en términos de la producción final:

*Tasa de interés = $\alpha * \varepsilon * (Producción final / Capital físico)$*

que indica la cantidad de bien final que recibiría cada unidad de capital físico prestada al sector intermedio. Las unidades de bien final que recibiría cada unidad eficiente ofertada al mercado de trabajo, en cada unidad de tiempo, sería

*Salario = $(1 - \alpha) * \varepsilon * (Producción final / Unidades eficientes de trabajo)$*

y la variable auxiliar,

$$\text{Beneficios} = (1 - \varepsilon) * \text{Producción final},$$

debido a que nos hemos olvidado de los costes fijos y su cuantía será totalmente distribuida entre dividendos y gastos I +D.

- La acumulación de capital físico está promovida por el individuo y se expresa como diferencia entre un flujo de entrada, determinado por las rentas de trabajo, salarios, y de capital, intereses y dividendos, y un flujo de salida regido por el consumo:

$$\text{Cambio neto en capital físico} = \text{Renta del trabajo} + (\text{Tanto de interés} * \text{Capital físico}) + \text{Dividendos} - \text{Consumo}.$$

- Las variables auxiliares que definen las tasas de crecimiento determinan el crecimiento de una variable en una unidad particular de tiempo, como una proporción de su valor al comienzo de esa unidad y, por tanto, son adimensionales. Por ejemplo, el crecimiento del producto final, el producto interior bruto (PIB), será obtenido por la relación:

$$\text{Crecimiento del PIB} = (\text{Producción final}(t) - \text{Producción final}(t-1)) / \text{Producción final}(t-1).$$

B. Ajustando a situaciones deseadas

La formulación de los flujos afectando al resto de los niveles son modelados mediante procesos de retroalimentación negativa utilizando un ajuste lineal en la discrepancia entre un nivel deseado del stock y su valor actual. Esta formulación es frecuente en el tratamiento de modelos macroeconómicos siendo su objetivo compensar cambios bruscos que pueden surgir en el sistema, como consecuencia de las propias características del entorno, o bien debido a decisiones de los agentes que intervienen en la economía, y que no tendrían plena justificación en una economía real. Como resultado de estas formulaciones, los niveles

responden más lentamente a los cambios de sus flujos.

En nuestra propuesta, los niveles deseados están formulados considerando las reglas de decisión que actuarían sobre el correspondiente nivel de acuerdo con las condiciones establecidas en las secciones anteriores. La formulación general a que estaría sometido cada nivel sería:

$$\text{Cambio neto en el nivel}(t) = (\text{Nivel deseado}(t) - \text{Nivel}(t)) * (1 / \text{Tiempo de ajuste}),$$

donde los parámetros, tiempos de ajuste, determinan cómo de rápidamente el nivel alcanza el valor del nivel deseado y vendrán medidos (1/unidad de tiempo). Por tanto, las unidades de medida del nivel deseado son las mismas que las del nivel al que está asociado. En la figura 3 se muestran los elementos que intervienen en estos procesos de convergencia a las situaciones deseadas gobernados por ciclos negativos.

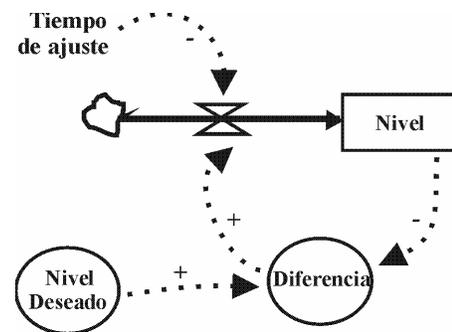


Figura 3. Ajuste a una situación deseada

- El nivel de consumo deseado es definido suponiendo que el individuo consume, en cada unidad de tiempo, una fracción de sus rentas obtenidas en cada intervalo de tiempo:

$$\text{Nivel deseado de consumo} = \text{Propensión al consumo} * \text{Renta disponible},$$

donde la propensión al consumo es una constante que refleja el porcentaje de renta disponible, rentas de trabajo y capital, que el

individuo gasta en consumo. El valor inicial del consumo se considera proporcional al valor inicial de la renta de trabajo. No obstante, cada individuo podría consumir una cantidad superior al valor que alcance su renta, dependiendo del valor ajustado para la propensión al consumo; incluso podría consumir su riqueza, que supondría la eliminación del proceso productivo al no incluir el modelo la posibilidad de que la economía obtenga recursos de otras economías. El modelo tampoco tiene en cuenta la formación de expectativas de los individuos y empresas sobre niveles futuros de capital físico y, en particular, respecto a los individuos, un consumo actual a cargo de una riqueza futura no es considerado.

7. El stock deseado de capital humano es el resultado de la influencia de tres variables: tiempo invertido por los individuos en su acumulación, nivel de tecnología en la economía y el propio valor actual del capital humano soportado por los individuos. De este modo, proponemos:

$$\text{Stock deseado de capital humano} = B * (1 - \text{Porcentaje de tiempo dedicado al trabajo}) * \text{Tiempo máximo de trabajo} * \text{Tecnología}^{(1-\beta)} * \text{Capital humano}^\beta.$$

El parámetro β , $0 < \beta < 1$, recoge el grado de sustitución entre capital humano y tecnología para la producción de este primer factor; $(1/B)$ es una constante medida en (horas / unidad de tiempo) y captura el número de horas por año que son requeridas para producir una unidad de capital humano.

8. La adaptación entre el stock de capital humano y el nivel de tecnología en la economía durante una unidad de tiempo, determina cómo efectivamente cada trabajador opera en el mercado laboral en esa unidad de tiempo:

$$\text{Productividad deseada} =$$

$$C * (\text{Capital Humano} / \text{Tecnología})^c,$$

donde c , $0 < c < 1$, carece de dimensión y C es una variable positiva cuyas unidades son (Producción final / Horas), y representará la productividad del trabajador cuando su nivel de capital humano y el factor tecnológico utilizado en el proceso productivo alcanzan el mismo valor. Por este motivo, esta variable se supondrá dependiente del capital humano y será expresada por una función creciente y cóncava, admitiendo que la productividad tiene un límite. Hemos seleccionado $C = \text{Ln}(1 + \text{Capital Humano})$, siempre que la productividad deseada coincida con la unidad.

9. El resultado de las actividades de investigación y desarrollo corresponde al valor que alcanza la variable tecnología y que utilizan todas las empresas del sector intermedio en la misma medida:

$$\text{Stock deseado de tecnología} = \text{Efecto de la inversión sobre la tecnología} * \text{Tecnología},$$

donde el efecto de la inversión sobre la tecnología es un índice que nos indica la efectividad de los gastos de investigación y desarrollo en el periodo actual sobre el nivel de tecnología que actualmente utiliza la economía. Este efecto viene definido por la relación:

$$\text{Efecto de la inversión sobre la tecnología} = (1 + q * \text{Gastos de I+D})^a.$$

Una forma de justificar esta formulación podría ser: si las empresas no invierten en investigación y desarrollo, el índice que determina el nivel de tecnología no cambia. Más inversión implica un nivel más alto de tecnología, aunque parece realista suponer que los resultados de investigación no crecen en la misma proporción que las inversiones. Por ello, hemos seleccionado

una función exponencial para recoger este efecto donde el parámetro a pertenece al intervalo $(0, 1)$ y la inversa del parámetro q está medida en unidades de producción final.

10. Para determinar el porcentaje de tiempo que el individuo invierte en acumular capital humano, tenemos por una parte el coste de oportunidad, así si el individuo decide dedicar un porcentaje a acumular capital humano en el periodo actual y quiere compensar su pérdida de renta de trabajo en la unidad de tiempo posterior, se tendrá que verificar la siguiente relación:

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de tiempo dedicado al trabajo } (t) \\ & \geq (\text{Calidad } (t-1) / \text{Calidad } (t)) * \\ & (\text{Salario } (t-1) / \text{Salario } (t)) * \\ & (1 + \text{Tasa de interés } (t)) * \\ & (1 - \text{Porcentaje de tiempo dedicado al} \\ & \text{trabajo } (t-1)). \end{aligned}$$

Si además cada individuo prefiere que las rentas de trabajo en el periodo actual no disminuyan respecto a las obtenidas en el periodo anterior, se tendrá que verificar:

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de tiempo dedicado al trabajo } (t) \\ & \geq (\text{Calidad } (t-1) / \text{Calidad } (t)) * \\ & (\text{Salario } (t-1) / \text{Salario } (t)) * \text{Porcentaje de} \\ & \text{tiempo dedicado al trabajo } (t-1). \end{aligned}$$

Luego, el porcentaje de tiempo dedicado al trabajo tendrá que determinarse mediante la relación:

$$\begin{aligned} & \text{Atractividad hacia el trabajo} = \\ & \min \{1, \max \{(\text{Calidad } (t-1) / \text{Calidad } (t)) * \\ & (\text{Salario } (t-1) / \text{Salario } (t)) * \\ & (1 + \text{Tasa de interés } (t)) * \\ & (1 - \text{Porcentaje de tiempo dedicado al} \\ & \text{trabajo } (t-1)), (\text{Calidad } (t-1) / \text{Calidad } (t)) * \\ & (\text{Salario } (t-1) / \text{Salario } (t)) * \text{Porcentaje de} \\ & \text{tiempo dedicado al trabajo } (t-1)\}\}. \end{aligned}$$

También cada individuo deseará dedicar un porcentaje de su tiempo al estudio, para que no disminuya su productividad, y como él no tiene capacidad para actuar sobre el nivel de tecnología de la economía, siempre deseará que este porcentaje no disminuya con el paso del tiempo si su stock de capital humano es adecuado para la tecnología que subyace en la economía. Ahora bien, si percibe que su nivel de capital humano no está de acuerdo con el stock de tecnología, deseará aumentar el tiempo dedicado al estudio y proponemos:

$$(1 - \text{Porcentaje de tiempo dedicado al trabajo } (t)) \geq (1 - \text{Porcentaje de tiempo dedicado al trabajo } (t-1)) * (1 + \text{Efecto de la productividad}),$$

donde $\text{Efecto de la productividad} = \text{Capital humano } (t-1) / \text{Tecnología } (t-1)$, si este cociente es mayor que la unidad y, en caso contrario, el efecto sería nulo.

Luego el tiempo que un individuo invierte en aprendizaje deberá satisfacer:

$$\text{Atractividad hacia el aprendizaje} = \min \{1, (1 - \text{Porcentaje de tiempo dedicado al trabajo } (t-1)) * (1 + \text{Efecto de la productividad})\},$$

ya que debe ser a lo sumo igual a la unidad. Entonces, podemos definir el stock deseado del tiempo dedicado al mercado laboral como un promedio aritmético de las dos variables que definen la atractividad:

$$\text{Stock deseado del tiempo dedicado al trabajo} = (\text{Atractividad hacia el trabajo} + (1 - \text{Atractividad hacia el aprendizaje})) / 2,$$

y su complemento respecto a la unidad nos determinará el valor de la variable auxiliar, $\text{Stock deseado del tiempo dedicado al aprendizaje}$.

11. Cada empresa tiene que distribuir sus beneficios entre dividendos y gastos de investigación y desarrollo, y la distribución podrá realizarse de tal forma que su aportación a cada uno de los factores incida sobre la producción del periodo siguiente de forma óptima. No obstante, las empresas en el momento en que se produce la distribución desconocen el valor que alcanzarán los factores, capital y tecnología, en el periodo siguiente, es más, el nivel de tecnología en el siguiente ciclo de producción depende totalmente de la cantidad asignada a gastos de I+D en el periodo actual; entonces si ajustamos el retorno de la inversión en tecnología por el retorno de la inversión en el stock deseado de tecnología, que es el único elemento sobre el que pueden actuar las empresas, y el valor del capital físico, en el periodo siguiente, por su valor actual, podemos definir:

*Relativo retorno de la inversión en el stock deseado de tecnología = (Contribución marginal de los gastos de I+D por empresa al efecto de la tecnología) / (Efecto de la inversión sobre la tecnología * Tecnología);*

Relativo retorno de la inversión en capital = (Contribución marginal de los dividendos al capital físico de cada empresa) / (Capital físico / Número de empresas),

y a las empresas del sector intermedio les será indiferente que los beneficios se destinen a acumular capital físico o tecnología, siempre que los retornos coincidan, luego *Relativo retorno de la inversión en tecnología = Relativo retorno de la inversión en capital*, que nos proporcionará la cantidad que cada empresa desea destinar a actividades de I + D:

$$(1 + q * \text{Gastos deseados de I+D por empresa}) / (a * q) = (\text{Capital físico} / \text{Número de empresas}).$$

Entonces, todas las empresas intermedias dedicarán conjuntamente a I+D la cantidad de final output:

$$\text{Gastos de I+D} = \text{Max} \{0, \text{Min} \{ \text{Beneficios}, (a * \text{Capital físico}) - (\text{Número de empresas} / q) \} \},$$

y los accionistas recibirán $\text{Dividendos} = \text{Beneficios} - \text{Gastos de I+D}.$

12. Como los gastos de investigación y desarrollo de cada empresa no pueden superar a sus beneficios, el tamaño del sector intermedio tendrá que modificarse para adaptarse a estos requerimientos y el *Stock deseado del número de empresas* tendrá que verificar:

$$q * (a * \text{Capital físico} - \text{Beneficios}) \leq \text{Stock deseado del número de empresas} \leq a * q * \text{Capital físico},$$

y proponemos definirle mediante el promedio de los valores extremos:

$$\text{Stock deseado del número de empresas} = (\text{Max} \{0, q * (a * \text{Capital físico} - \text{Beneficios})\} + q * a * \text{Capital físico}) / 2.$$

IV. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Una vez implementado el diagrama de flujos y niveles utilizando Powersim 2.5, hemos seleccionado como unidad de tiempo el año, un paso de simulación de 0,25 años y un horizonte temporal de 120 años, con el objetivo de estudiar el comportamiento del sistema en el largo plazo. La población se considera la unidad y se supone constante durante la simulación.

Nuestro modelo para una economía genérica se adapta a tres economías que se diferencian en cuatro características que están referidas a los beneficios que obtiene el sector intermedio, al parámetro que afecta a la función de producción del capital humano, al tiempo máximo de dedicación al trabajo

y a la propensión marginal al consumo de los individuos. El escenario uno correspondería a una economía caracterizada por un alto consumo, menor número de horas de trabajo, muy poco esforzada en actividades de investigación y desarrollo y donde la tecnología juega un papel neutral en la producción de capital humano. El escenario tercero, representaría a una economía con menor consumo, mayor número de horas trabajadas, con vocación decidida a invertir en investigación y con una alta valoración del capital humano. El segundo escenario recogería una economía con una estructura en situación intermedia a las anteriores. Los ajustes proporcionados a los parámetros y que caracterizarían estos escenarios se muestran en la tabla I.

Tabla I

Parámetros característicos de los escenarios

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
ε	0,997	0,98	0,97
β	0,5	0,7	0,9
Tiempo máximo de trabajo anual	1.340	1.875	2.410
Propensión marginal al consumo	1	0,9	0,8

Hemos considerado unos valores iniciales de los niveles iguales para todas las economías, de forma que pueda observarse como varían las trayectorias ante las diferentes estructuras que ellas presentan. En particular, los valores iniciales de los niveles que contienen retrasos se han ajustado a sus valores deseados de modo que el sistema comience en equilibrio. Los tiempos de ajuste, asociados a los niveles que evolucionan siguiendo ciclos negativos, son de dos años para todos los niveles, excepto para el nivel de capital humano que se ha seleccionado de cinco años, pues corresponde la duración media de una carrera universitaria en España.

El resto de los valores de los parámetros que son comunes para todos escenarios toman los valores: $\alpha = 0,35$; $a = 0,014$; $B = 0,004$; $F = 1$; $q = 0,7$ y $c = 0,5$.

El modelo no se muestra especialmente sensible ante variaciones pequeñas de un solo parámetro; la modificación de varios parámetros desencadena la dominancia de unos ciclos sobre otros, de ahí la motivación en la selección de los escenarios que muestran ajustes paramétricos distintos, de modo que pueda destacarse las diferencias que los distintos ajustes provocan en la evolución de las tasas de crecimiento, ya que si fueran muy parecidos la evolución de las trayectorias sería muy similar. El modelo muestra en las simulaciones menos sensibilidad a variaciones sobre las condiciones iniciales de los niveles y presenta la ventaja de que es robusto ante condiciones extremas.

Las figuras 4, 5 y 6 muestran la evolución de la tasa de crecimiento económico, las trayectorias que siguen las tasas de crecimiento del capital físico y humano, asociadas a las variables que en nuestro modelo son consideradas como soportes del crecimiento.

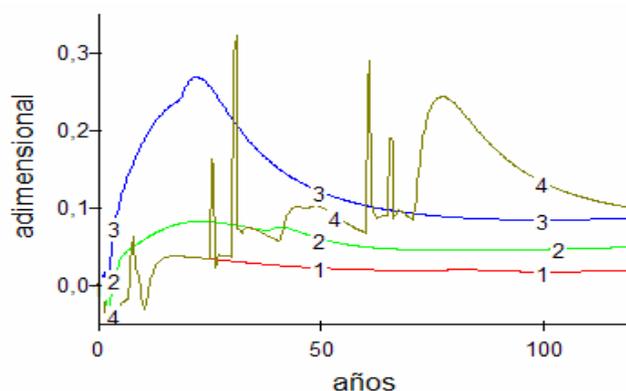


Figura 4. Tasa de crecimiento del PIB

En estas figuras se recogen cuatro trayectorias para cada tasa de crecimiento. La primera corresponde a la economía del escenario uno, la segunda al escenario dos, la tercera al escenario tres; la cuarta trayectoria se inicia con la estructura económica del primer escenario, alcanza la del segundo y posteriormente adopta los parámetros estructurales del tercer escenario.

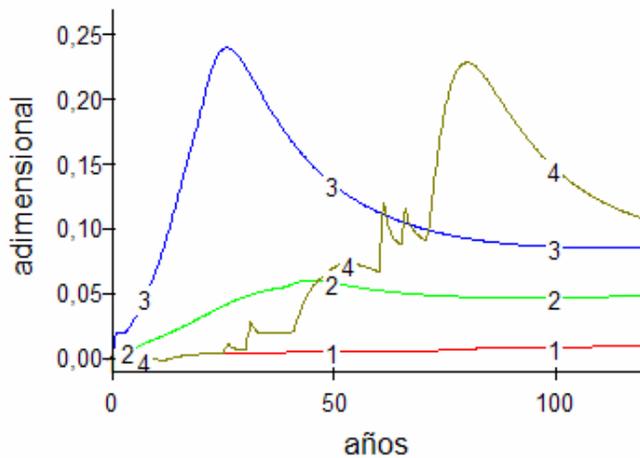


Figura 5. Tasa de crecimiento del capital físico

El primer resultado que se observa es que en todas las economías que recogen los escenarios uno, dos y tres, la tasa de crecimiento económico, la tasa de crecimiento del capital físico y la del capital humano, después de un periodo de ajuste, tienden hacia una situación estacionaria. El valor cuantitativo de la situación estacionaria depende de la selección de aquellos parámetros estructurales que determinaron los distintos escenarios.

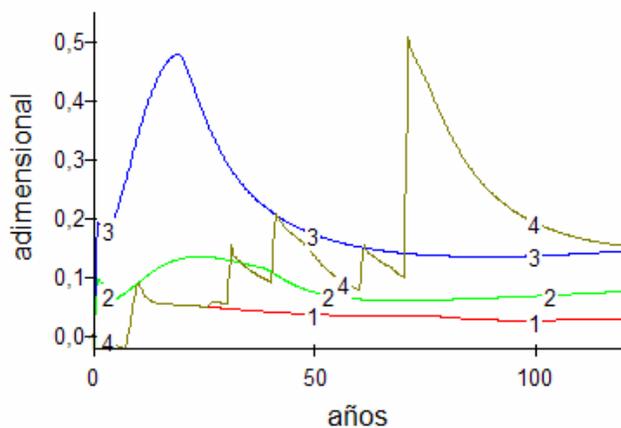


Figura 6. Tasa de crecimiento del capital humano

Obtenemos que las situaciones estacionarias que muestra el tercer escenario superan siempre a las del segundo y este, a su vez, supera a las situaciones estacionarias del primer escenario. Este resultado puede justificarse al tener en cuenta que cada escenario tiene unos marcadores estructurales distintos, pues mientras que el tercer escenario recogería una economía modelo, el segundo

mostraría una situación más realista y el primer escenario representaría una mala estructura económica. La forma de alcanzar estas situaciones estacionarias también son distintas, pues mientras que el primer escenario mantiene unas tasas de crecimiento prácticamente constantes, el tercer escenario tiene un periodo de fuertes crecimientos para después caer de forma paulatina hasta lograr su situación estacionaria; el segundo escenario, por su parte, mantiene un comportamiento cualitativo más similar al tercer escenario aunque las variaciones que presentan las tasas no son tan extremas.

Parece importante destacar que, las situaciones estacionarias que muestran las tasas de crecimiento recogidas en las figuras es una característica propia de estas tasas, pues las variables que permiten definir las no presentan este comportamiento, ya que están guiadas por ciclos de retroalimentación positivos y muestran comportamientos acumulativos frenados por la intervención de ciclos negativos.

Para obtener las situaciones estacionarias se requiere que los agentes económicos mantengan sus políticas durante toda la simulación; la modificación y posterior mantenimiento de los valores de los parámetros estructurales puede variar la tendencia de las trayectorias para ajustarse a una nueva y, este hecho, proporciona la base para impulsar el desarrollo en una economía que, parece obvio, siempre tendrá un límite de crecimiento debido a las restricciones que tienen los parámetros, así como los límites que presentan los procesos de acumulación de las variables, pues muchas de ellas están envueltas en procesos que presentan rendimientos constantes de escala.

En la evolución de las tasas del cuarto escenario puede observarse como las trayectorias responden muy rápidamente a la modificación de los parámetros y su mantenimiento durante un cierto periodo de tiempo, provoca que ellas se adapten progresivamente a las situaciones que muestran las tasas de los escenarios que, durante ese periodo de tiempo, están replicando.

El comportamiento que muestra esta cuarta trayectoria pone de manifiesto que el sistema dinámico construido refleja los resultados empíricos que afirman que países con las mismas preferencias y tecnologías tienden a la misma tasa de crecimiento sostenido aunque la manera de alcanzarlo puede ser diferente.

En la figura 7 se muestra la evolución de la tasa de crecimiento de la tecnología para los cuatro escenarios.

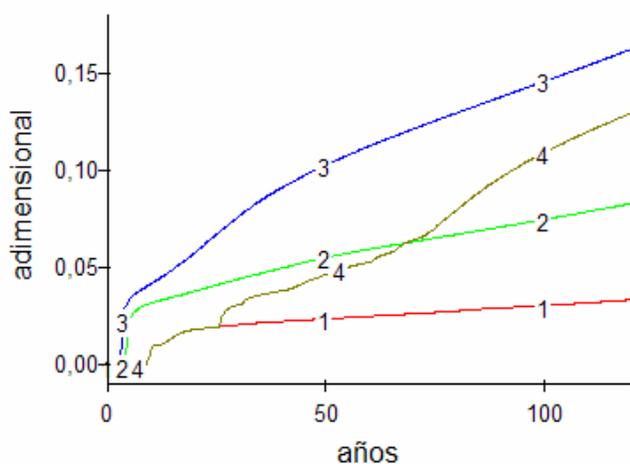


Figura 7. Tasa de innovación

Observamos en esta última figura que la tasa de innovación tiene un comportamiento distinto de las otras tasas, recogidas en las figuras previas, para todos los escenarios ya que la situación estacionaria no está perfectamente delimitada en ninguno de ellos, aunque en todos los casos se observa una tendencia ligeramente decreciente en el largo plazo, posiblemente como consecuencia del crecimiento estacionario que en ese horizonte presenta la tasa de capital humano. La evolución de esta tasa, como ocurre con las demás, es cuantitativamente superior en el tercer escenario que en el primero y el segundo escenario se mantiene en una situación intermedia; observemos, que las modificaciones estructurales no consiguen que la trayectoria del cuarto escenario alcance el crecimiento lineal y sostenido de la economía del tercer escenario aunque logra mantener su misma tendencia. En particular, esta tasa no llega a alcanzar los valores máximos que alcanzan el resto de las tasas dentro de su mismo escenario y además es característico

que la adaptación de la trayectoria del cuarto escenario, a las variaciones estructurales que sufre, no es tan brusca como reflejan las trayectorias de las otras tasas para este escenario.

V. CONCLUSIONES

La complejidad y la naturaleza, esencialmente no lineal, son aspectos que están inmersos en todos los procesos de crecimiento en todas las regiones del mundo. La influencia de este índice en la formación de expectativas sobre una específica economía, e incluso en las relaciones políticas y comerciales entre regiones es muy importante, de ahí que resulte de interés caracterizar este proceso.

Debido a la complejidad que encierra el análisis, son numerosas las variables que la literatura económica considera como influyentes sobre los procesos de crecimiento o, en su caso, de estancamiento económico. Algunas variables se seleccionan para explicar casos particulares de determinadas regiones, otras, sin embargo, son consideradas en la mayoría de los estudios del proceso. Desde una perspectiva de la Dinámica de Sistemas y para el análisis de una economía genérica, hemos seleccionado tres variables relevantes que se retroalimentan e inciden sobre procesos de retroalimentación que envuelven a otras variables. La formulación del grado de causalidad que surge entre las variables seleccionadas nos permitió obtener un modelo apto para simulación, donde es posible ensayar distintas propuestas. Hemos estudiado tres economías caracterizadas por distintas estructuras que recogen una situación muy buena, buena y no tan buena para analizar la evolución de las trayectorias de crecimiento. Los resultados obtenidos muestran que las tasas de crecimiento económico, las tasas de crecimiento del capital físico y humano, convergen hacia situaciones estacionarias, independientemente de las condiciones iniciales de las variables que llevan el peso del proceso, pero la situación estacionaria depende de la estructura económica y es precisamente esa estructura la que puede alterar tanto el ritmo con que la trayectoria se aproxima a

la situación estacionaria como el valor cuantitativo de esa situación.

La investigación en el campo del crecimiento económico es muy amplia y además, dado que siempre el proceso involucra a distintas variables que se retroalimentan entre si, la metodología del análisis de sistemas resulta altamente fructífera para su estudio, de ahí que las ampliaciones del modelo pueden seguir distintas vertientes como, la inclusión de nuevas variables para su adaptación a regiones específicas con el objetivo de considerar sus distintas peculiaridades y también, podría ser posible la eliminación de ciertas hipótesis que fueron tenidas en cuenta en la construcción del sistema dinámico. Así, por ejemplo, podríamos sustituir la hipótesis de que la economía cerrada por una economía abierta lo que nos permitiría la introducción del comercio, o también, eliminar la simplificación de un crecimiento nulo de población.

REFERENCIAS

- [1] Barro, R. J. y X. Sala i Martín., "Convergence", *Journal of Political Economy*, Vol. 100, n° 2, 1992.
- [2] Barro, R. J., *Determinants of Economic Growth*. MIT Press, Cambridge. 1997.
- [3] Hall, R. E. y C. I. Jones., "Why do some countries produce so much more output per worker than other? ", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 114, n° 1, 1999.
- [4] Heckman, J. J. y P. J. Klenow., "Human capital policy", *Working Paper*. University of Chicago, 1997.
- [5] Hendricks, L., "Taxation and long-run growth", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 43, n° 2, 1999.
- [6] Kosempel, S. , "A theory of development and lung run growth", *Journal of Development Economics*, Vol. 75, n° 1, 2004.
- [7] Lucas, R.E., "On the mechanics of economic development", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22, 1988.
- [8] Lloyd-Ellis, H. y J. Roberts., "Twin engines of growth: skills and technology as equal partners in balanced growth", *Journal of Economic Growth*, Vol. 7, n° 2, 2000.
- [10] Mankin, N. G., Romer, D. y D. N. Weil., "A contribution to the empirics of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 107, n° 2, 1992.
- [11] Peretto, P. F., "Industrial development, technological change and long-run growth", *Journal of Development Economics*, Vol. 59, 1999.
- [12] Romer, P.M., "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, Vol. 88, n° 5, 1990.
- [13] Soto, M. D., Fernández, R. y J. J. Garcillán., "Modelling Reforms and Growth upon the Economy: A System Dynamics Approach", *Proceedings of the 2003 International System Dynamics Conference*. New York. 2003.
- [14] Soto, M. D., Fernández, R. y M. R. Arranz., "Modelo dinámico sobre crecimiento económico y simulación de reformas políticas", *2º Congreso Latinoamericano*. Talca. Chile.2004.
- [15] Sterman, J. D., *Bussiness Dynamics*. McGraw-Hill. 2000.
- [16] Ventura, J. (2005): A Global View of Economic Growth. *A Handbook of Economic Growth*, Ed. P. Aghion y S. Durlauf (forthcoming). 2005.

Resolviendo juntos los problemas de las Infraestructuras de la Próxima Generación

Altamirano, Mónica A., Haraldsson, Hördur V.
altamirano@tbm.tudelft.nl - Hordur.haraldsson@chemeng.lth.se
Technische Universiteit Delft (TU Delft), Holanda. M.A.
Lund University, Suecia.

Resumen— El presente artículo tiene como objetivo presentar la aplicación de Dinámica de Sistemas para el caso específico de un proyecto de la plataforma Infraestructuras de la Próxima Generación (Next Generation Infrastructure Foundation, en adelante denominada NGI), con base en Holanda, y los resultados preliminares que esta aplicación ha tenido en la relación entre investigadores de la Universidad Técnica de Delft (TU Delft) y el mundo práctico.

Índice de Términos—Dinámica de sistemas, ciclo de aprendizaje, modelaje en grupo, administración de redes de nacionales de carreteras.

I. INTRODUCCIÓN

Las últimas décadas, los avances en la ciencia y la creciente especialización de las diferentes disciplinas en el mundo académico han incrementado significativamente la distancia histórica entre el mundo académico y el mundo de la práctica.

Síntomas de esta creciente distancia es el hecho que muchas empresas grandes y multinacionales han empezado a realizar la mayor parte de su entrenamiento y capacitación “in-house” (por ejemplo, compañías petroleras), así como muchas tienen sus propios departamentos de investigación.

Paradójicamente, en el mundo actual cuando los problemas que enfrentan nuestras sociedades han crecido también en complejidad, la necesidad de cooperación entre todos los actores de la sociedad, especialmente entre universidades –como fuentes de conocimiento- y tomadores de decisión – en la esfera pública y privada- es más fuerte. Un área

donde la cooperación entre estos dos actores se necesita con mayor urgencia y donde iniciativas

conjuntas han empezado a realizarse, es el área de infraestructuras públicas (por ejemplo, la red de carreteras, el sistema energético y el sistema de telecomunicaciones).

A pesar del interés que hay en ambos lados y de que ambos están conscientes de los beneficios que iniciativas conjuntas les podrían traer, comenzar y mantener interesante y productiva esta relación, no es tarea fácil. Un obstáculo clave es el “idioma” en el que cada uno de estos mundos se expresa. El mundo académico es particularmente propenso a expresar sus ideas en su propia jerga profesional, solamente comprensible para los colegas en el mismo campo; y utilizando preferiblemente una perspectiva de largo plazo. Mientras tanto la gente en el mundo de la práctica –quienes día a día enfrentan problemas y tienen que tomar decisiones- esperan explicaciones claras, concretas y relevantes para los problemas de corto plazo que ellos enfrentan.

La Dinámica de Sistemas- a través del uso de el llamado círculo de aprendizaje extendido o “extended learning loop” [1] – son un puente prometedor entre estos dos mundos. Ellos pueden operar como un “Esperanto” para promover el entendimiento entre ellos y hacer posible de esta manera la realización de las ganancias que ambos esperan.

El presente artículo tiene como objetivo presentar la aplicación de Dinámica de Sistemas para el caso específico de un proyecto de la plataforma Infraestructuras de la Próxima Generación (Next

Generation Infrastructure Foundation, en adelante denominada NGI), con base en Holanda, y los resultados preliminares que esta aplicación ha tenido en la relación entre investigadores de la Universidad Técnica de Delft (TU Delft) y el mundo práctico. Al mismo tiempo, haciendo uso de los conceptos “ciclo extendido de aprendizaje” (learning loop) y “modelaje en grupos” (group modeling) el nivel de desarrollo de esta aplicación podrá ser evaluado. Estos conceptos han también de ayudarnos a explorar oportunidades aún más avanzadas para el uso de Dinámica de Sistemas dentro del proyecto. Consecuentemente estos conceptos nos ayudarán a definir cuales son los próximos pasos que la relación con el mundo práctico debería tomar para surtir los mejores resultados para la investigación y para la relación en si misma.

Este proyecto consiste en un Comparación Internacional de redes de carretera, con especial énfasis en el uso de Indicadores de Desempeño y Formas Contractuales innovadoras.

Diagramas de sistemas han sido utilizados como medio de comunicación entre los investigadores de la Universidad Tecnológica de Delft (TU Delft) y los miembros de la Plataforma de Intercambio de Conocimiento.

II. ANTECEDENTES

La fundación NGI representa un gran consorcio de universidades, centros de investigación, empresas privadas y organismos gubernamentales, que han juntados sus fuerzas para resolver los enormes problemas de las infraestructuras de red modernas. El objetivo común de todos los participantes es mejorar nuestras infraestructuras vitales, incluyendo la forma en como estas son operadas y administradas.

Científicos de diferentes disciplinas han unido sus fuerzas con grupos en la industria (diseñadores de políticas, agencias reguladoras, operadores y administradores de infraestructuras, inversionistas, contratistas y proveedores de servicios entre otros) para desarrollar y someter a prueba nuevas teorías, modelos y herramientas que aseguren que las infraestructuras del futuro funcionaran a su máximo potencial.

El programa NGI esta conformado por seis programas diferentes pero interrelacionados. Estos programas son Entendiendo Redes Complejas, Valores Públicos, Infraestructuras flexibles, Infraestructuras críticas o seguridad en las redes de infraestructuras, Infraestructuras inteligentes y un último programa para la Difusión del Conocimiento.

El proyecto de investigación: “Estudio Comparativo Transnacional de Infraestructuras de Red: Indicadores de Desempeño y formas contractuales innovadoras” es uno de los subproyectos dentro del programa Infraestructuras Flexibles.

Con el objetivo de mantener una relación continua con los socios del proyecto en la práctica y los investigadores, Plataformas de Intercambio de Conocimiento han sido creadas para cada uno de los programas. La aplicación que se ha hecho del Pensamiento Sistémico y la Dinámica de Sistemas como instrumentos de comunicación dentro de este proyecto específico será explicada en las siguientes secciones del artículo.

III. EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación puede ser resumido de la siguiente manera. Un número significativo de países está experimentando formas innovadoras de licitar y contratar proyectos para la construcción de nuevas carreteras o para el mantenimiento de carreteras ya existentes. Cuatro tendencias pueden percibirse en general en el área de administración de carreteras, tres conciernen la forma cómo el proyecto es concebido y organizado (Project delivery) y una concierne la forma cómo el proyecto es financiado (Project financing). La primera tendencia es que más y más proyectos son contratados y concebidos para incluir, si es posible, el ciclo completo de vida de la carretera – lo que significa no solamente diseño y construcción, pero también mantenimiento y operación del tramo de carretera. La segunda tendencia es que a los contratistas se les está otorgando más y más libertad o espacio de diseño [2] al monitorearlos haciendo uso de indicadores cada vez menos operativos y detallados y orientados más hacia resultados y desempeño [3]. La tercera tendencia es que los contratos son otorgados para términos de tiempo

más largo. La cuarta tendencia, relacionada más directamente con las formas de financiamiento, es que inversionistas privados están jugando un papel cada vez más importante y los gobiernos están siguiendo una “estrategia dual” como define Miller [4] el fenómeno que los gobiernos están financiando más y más proyectos no sólo de manera directa, pero de manera indirecta a través de subsidios, peaje y otros.

Cómo se puede deducir de estas tres tendencias, el rol del gobierno se está volviendo más el de un agente regulador o monitor de calidad, que un operador directo de la red de carreteras. Es precisamente este cambio de rol lo que sitúa el problema de la evaluación de calidad y monitoreo del desempeño de los contratistas en una posición aún más crítica y estratégica que tradicionalmente. Este proyecto de investigación tiene como objetivo estudiar cómo diferentes países han dado solución a este problema, aplicando un enfoque evolutivo y de dinámica de sistemas.

El objetivo final es formular conclusiones en cuanto a las prácticas internacionales de contratación y administración de carreteras. Las prácticas de dieciséis países serán comparadas una con la otra, confrontando estas con las teorías relevantes dentro del campo de Economía Institucional e Ingeniería de Diseño.

La Plataforma de Intercambio de Conocimiento de este proyecto de cuenta con once miembros, tres investigadores de la Facultad de Tecnología, Políticas y Administración de TU Delft y nueve representantes de las organizaciones socias o patrocinadoras. El Ministerio de Transporte, Trabajos Públicos y Manejo de Aguas, el Ministerio de Finanzas, Dura Vermeer y BAM –ambos consorcios internacionales de construcción- entre otros. Dos sesiones plenarias se realizan cada año y encuentros unilaterales con algunos de los miembros se realizan con frecuencia.

IV. LA APLICACIÓN ACTUAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS DENTRO DEL PROYECTO

Mayor comprensión del problema ha sido ganada haciendo uso del enfoque de Análisis de Sistemas y diagramas de sistemas han sido utilizados como medio de comunicación entre los investigadores (de la Universidad de Ingeniería de Delft) y los

miembros de la Plataforma de Intercambio del Conocimiento. El enfoque de pensamiento sistémico [5] incluye dos partes una conceptual, llamada Análisis de Sistemas y una práctica, Dinámica de Sistemas. Este artículo se concentra mayormente en la primera parte y en los resultados que la aplicación de ésta ha tenido para el contenido y el proceso del proyecto de investigación. Además, haciendo uso del concepto “círculo de aprendizaje extendido” o “extended learning loop” [1], explora posibilidades adicionales que pudieran mejorar y hacer la Plataforma de Intercambio de Conocimiento aún más fructuosa .

V. ANÁLISIS SISTÉMICO DEL PROBLEMA

El pensamiento sistémico es una metodología sistemática por medio de la cual las causas tras de un problema son identificadas. Este enfoque resulta prometedor sobre todo para problemas multidisciplinarios en sistemas complejos, tal y como es el caso de la administración de redes nacionales de carreteras.

El pensamiento sistémico es denominado también como el modelaje de mapas mentales. En este caso, el ejercicio de modelaje nos permitirá hacer explícitos la concepción y entendimiento que se tiene del problema y hacerlo de una forma transparente y visible para los socios de la investigación en el mundo práctico. El objetivo más importante de esta actividad ha sido entender el por qué de las diferentes tendencias mundiales en el área de administración de carreteras y cual es el verdadero problema para el cual la investigación debería de encontrar soluciones.

Este primer ejercicio de pensamiento sistémico solamente, muestra ya que el proceso de reforma en las agencias nacionales de administración de carreteras, ha sido un proceso gradual de múltiples e inestables puntos de equilibrios, y que este proceso ha sido iniciado originalmente por cambios en los factores externos y en los paradigmas en el campo de la Administración Pública. Cambios en el ambiente crearon un nuevo tipo de problemas. Las soluciones dadas a estos problemas, han creado nuevos problemas y de esta manera sucesivamente, los diversos países se han visto forzados a implementar las diferentes tendencias mundiales, aunque en órdenes diferentes, dependiendo del tipo de solución que cada uno dio a los problemas

iniciales. Esta visión dinámica y evolutiva puede ser formulada como sigue.

A. Situación original

En la situación inicial, la idea del Estado de Bienestar [6] era la idea predominante en la mayoría de los países occidentales. El objetivo del Estado de Bienestar es el de limitar los efectos de la economía de mercado en los servicios públicos y las estructuras de bienestar social. En principio, el Estado de Bienestar protege a sus ciudadanos de los efectos de los mercados que aumentan la inequidad y la diferencia entre pobres y ricos.

Dentro del paradigma del Estado de Bienestar, las infraestructuras de red en general eran consideradas monopolios naturales y consecuentemente la administración pública de estas era considerada la mejor opción.

Aparte de este paradigma en el área de la Administración Pública, otros dos factores externos que definían el ambiente de la Administración de Carreteras eran economías creciendo rápidamente y una creciente especialización de la fuerza de trabajo.

Luego, como puede observarse en la Figura 1, concerniente al desempeño de este sistema en términos de calidad de carreteras e innovación, podríamos decir que; primero, economías crecientes junto con el hecho que las infraestructuras eran consideradas una tarea del gobierno, aseguraban financiamiento suficiente para hacerle frente al mantenimiento y la expansión necesaria de la red. El resultado entonces es un nivel de desempeño propicio. Segundo, Agencias nacionales para la Administración de Carreteras grandes y con personal numeroso junto con la progresiva especialización del trabajo, causaron hasta cierto punto un dominio de la tecnocracia, la cual se mantenía innovando y en ciertos casos esto creo hasta lo denominado “gold-plating”. Este es un estado del sistema de mayor calidad al necesario y con tanta extra capacidad y seguridad integrada que tal vez en términos económicos no era el más eficiente, pero que resultaba en un desempeño de buen nivel.

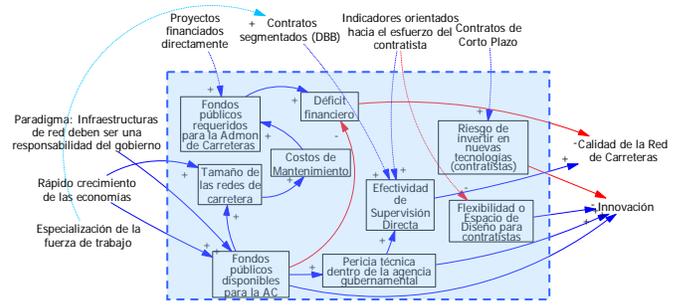


Fig. 1. Vista sistémica de la situación original

Consecuentemente, podemos concluir que en este escenario tenía sentido hacer proyectos y contratos financiados directamente por el gobierno, segmentados, supervisados en base a indicadores detallados y operacionales, y de corto plazo.

En este escenario las empresas privadas y el libre mercado ocupaban en el sector pública una posición de “mano contratada”[6] solamente.

B. El principio del cambio

El ambiente en el sector público ha cambiado significativamente en las últimas dos décadas. Los años 90 fueron un período de insistencia Anglo-americana de que los servicios públicos eran aptos para la liberalización y que a través de este cambio serían capaces de producir un nivel de competición auto sostenible e importantes reducciones de precio [7].

Un nuevo paradigma de administración pública ha surgido con la llamada Teoría de Opción Pública [8] la cual supone que el sector público cumple sus funciones con ineficiencia y por tanto es necesario reducir su rol al máximo.

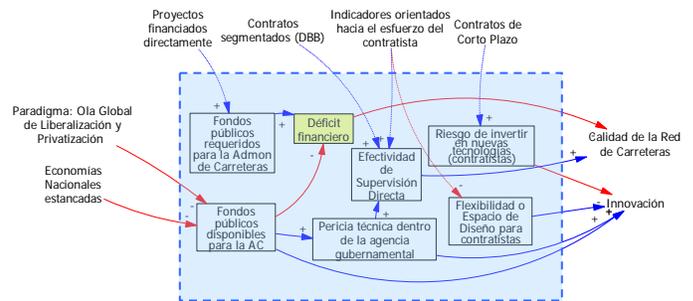


Fig. 2. Vista sistémica de la situación bajo un nuevo paradigma de Administración Pública

Tal y como se muestra en la Figura 2, este nuevo paradigma ha causado una ola global de liberalización y privatización de los diversos

servicios públicos. Esta ola junto con el relativo estancamiento de las economías nacionales ha creado a lo inmediato un problema de financiamiento. Diversos estudios han indicado que el problema de insuficiencia de fondos para sostener el mantenimiento que la redes de carreteras requieren, es un problema global [4, 9].

C. Primera tendencia

En reacción a este déficit financiero algunos países parecen haber empezado a experimentar con proyectos financiados indirectamente, tal como concesiones y carreteras financiadas a través del pago de peaje. Aún asumiendo que esta nueva práctica ha resuelto el problema de fondos, otro problema se sitúa en el centro de atención, la efectividad de la supervisión directa (ver Figura 3).

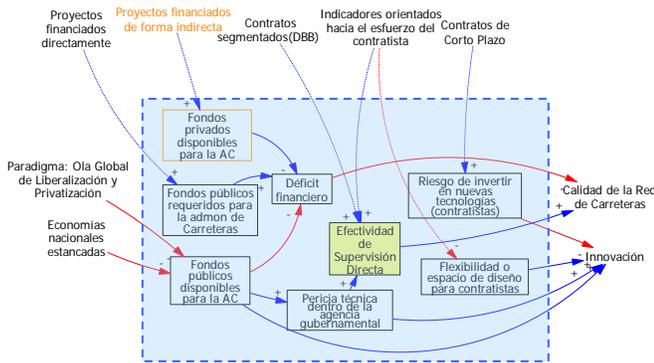


Fig. 3. Vista sistémica de la primera tendencia en la contratación de proyectos

Los procesos de liberalización y privatización han significado importantes reformas organizacionales en las autoridades o agencias nacionales a cargo de la administración de la red de carreteras. En muchos países estas instituciones se han separado en dos partes; una que representa al cliente puro o “principal”¹ – responsable de licitar todas las fases que un proyecto de carretera significa (Diseño, construcción, operación y mantenimiento)- y otra que es la parte que tradicionalmente se encargaba de realizar los trabajos de construcción y/o mantenimiento de las carreteras. La primera parte ha por lo general permanecido siendo una agencia estatal, mientras que la segunda ha sido en muchos casos corporatizada o privatizada.

¹ Este término se deriva de la denominada Teoría de la Agencia que hace la distinción entre Principal y Agente. Principal es el propietario de un bien que encomienda un trabajo y por lo general paga por éste y el agente es el que realiza el trabajo a petición del cliente.

Este proceso de reforma de las agencias públicas de administración de carreteras ha significado en general una reducción del personal de las agencias estatales y con ello una pérdida importante de personal experto. Esta pérdida junto con el creciente rol que las empresas privadas juegan en el sector, han reducido la efectividad que tradicionalmente tenían los métodos de supervisión directa. Podría decirse aun que con tan limitado personal métodos de supervisión detallados y directos se han vuelto prácticamente imposibles de aplicar.

Tradicionalmente el trabajo de los contratistas era supervisado haciendo uso de indicadores bien detallados y operacionales (por ejemplo, el ratio de aplicación de emulsiones diluidas o la velocidad con la que dicha aplicación debe efectuarse). Pero, cómo mantener un sistema de supervisión y monitoreo a esta nivel de detalle cuando la agencia gubernamental ha sido reducida a la mitad o menos de su personal original.

Además, probablemente la mayoría del personal que tenía conocimiento operacional y experiencia concreta en producción ha sido transferida la parte de la institución que fue corporizada o privatizada.

D. Segunda tendencia

Una vez más se necesita una nueva solución para este nuevo problema. Como respuesta, Indicadores Clave de Desempeño están empezando a ser incorporados en los contratos entre agencias públicas y contratistas. Estos indicadores son más orientados a resultados que a niveles de esfuerzo.

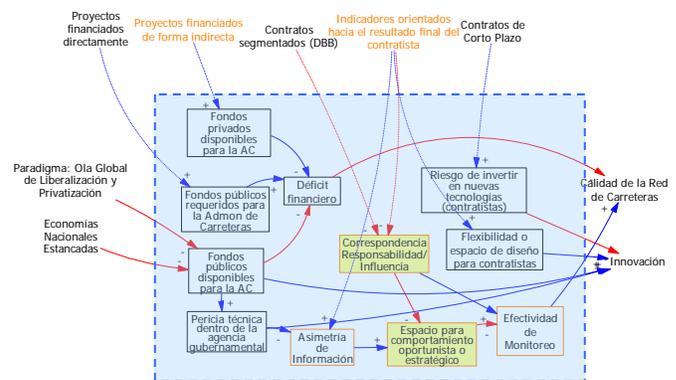


Fig. 4. Vista Sistémica de la segunda tendencia en contratación de proyectos

Los efectos positivos de esta nueva medida es que agencias públicas pequeñas podrán administrar la red de carreteras de una manera eficiente,

concentrando sus esfuerzos de control y monitoreo de contratistas en los asuntos de importancia estratégica y al mismo tiempo concediéndole éstos últimos más flexibilidad y libertad de diseño, lo cual incrementa las probabilidades de que estos realicen innovaciones en materiales y procesos de producción así como en métodos administrativos.

Sin embargo, esta solución crea también nuevos problemas. Más espacio y oportunidades de actuar estratégica y oportunamente son creadas para los contratistas; y el balance que debe existir entre las responsabilidades del contratista y su área de influencia se pone en riesgo.

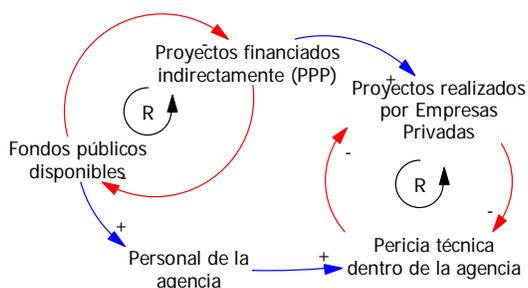


Fig. 5. Vista detallada de los ciclos reforzadores

Es importante señalar que aunque no han sido reflejados en las vistas sistémicas –con el fin de reducir la complejidad- muchos ciclos reforzadores (reinforcing loops) están tomando lugar en este proceso de reforma. Un ejemplo es presentado en la Figura 5. Cómo puede verse en esta figura hay dos ciclos reforzadores que aceleran el proceso de reforma. El primero puede explicarse de la siguiente manera; mientras menos fondos públicos se hacen disponibles para la administración de la red nacional de carreteras –como producto del nuevo paradigma en administración pública y la crisis económica- , mayor la necesidad y mayor la cantidad de proyectos que serán financiados indirectamente. Al mismo tiempo cuanto más proyectos financiados directamente sean realizados se contará con más historias exitosas, lo cual aumentará la preferencia por proyectos financiados de forma indirecta y esto a su vez producirá una reducción en los fondos públicos que se dedican a proyectos de carreteras.

Esta reducción en los fondos públicos disponibles causa a su vez la reducción de personal de la agencia gubernamental y por tanto la pérdida de personal con pericia técnica. Entre menos personal

dentro de la agencia tiene experiencia en la realización de nuevos proyectos de carretera, mayor la cantidad de proyectos que serán cedidos a empresas privadas, lo cual a su vez hace que esta pericia técnica sea menos necesaria y por tanto acelera el proceso de emigración de talento técnico hacia empresas privadas. Finalmente también ocurre que cuanto mayor la cantidad de proyectos financiados de forma indirecta, mayor la cantidad de proyectos realizados por empresas privadas.

Así el resultado es dos ciclos reforzadores, de los cuales el primero acelera aún más al segundo por medio de dos factores, fondos públicos disponibles y proyectos financiados de forma indirecta.

E. Tercera tendencia

Una solución alternativa para reestablecer el balance que debe existir entre las responsabilidades del contratista y su área de influencia es combinar más fases del ciclo de vida de la infraestructura en un solo contrato – por ejemplo: diseño, construcción, operación y mantenimiento en un contrato DBOM. De esta manera mas factores determinantes del desempeño total y final del tramo de carretera se vuelven endógenos o en otras palabras pasan a estar bajo el control de un mismo contratista. Si el mismo contratista es responsable por el diseño, construcción, mantenimiento y operación de este tramo de carretera, el o ella puede ser responsabilizado por indicadores de desempeño de mayor nivel, que lo que un contratista contratado sólo para el mantenimiento regular del mismo tramo. Además, una ganancia extra puede esperarse y esta es la posible reducción de los costos totales a lo largo de todo el ciclo de vida de ese tramo de carretera. El contratista al saberse responsable por todo el ciclo, probablemente tomara más en cuenta el costo de mantenimiento –lo cual representa en muchos casos mas del 80% de los costos totales del ciclo de vida útil- cuando tome decisiones durante el diseño y construcción de este tramo de carretera.

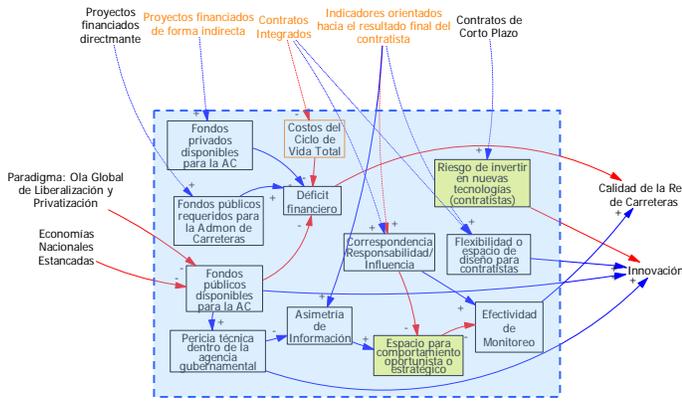


Fig. 6. Vista sistémica de la tercera tendencia en la contratación de proyectos

A pesar de estos avances podemos detectar aún problemas concernientes al espacio que se facilita a contratistas para que actúen de forma estratégica u oportunista y al nivel de innovación. Las últimas dos tendencias parecen haber incrementado las posibilidades de innovación, a través de un incremento en la flexibilidad o espacio de diseño cedido a los contratistas. Sin embargo, los contratistas no se atreven aun a invertir e implementar nuevas tecnologías porque el riesgo de invertir en estas es aun muy alto.

F. Cuarta tendencia

De esta manera llegamos a la última y cuarta tendencia; un incremento en el plazo de tiempo de los contratos. Una vez más, a pesar del impacto positivo en innovación, un plazo más largo también significa la creación de aún más espacio para que los contratistas actúen estratégica y oportunistamente [10].

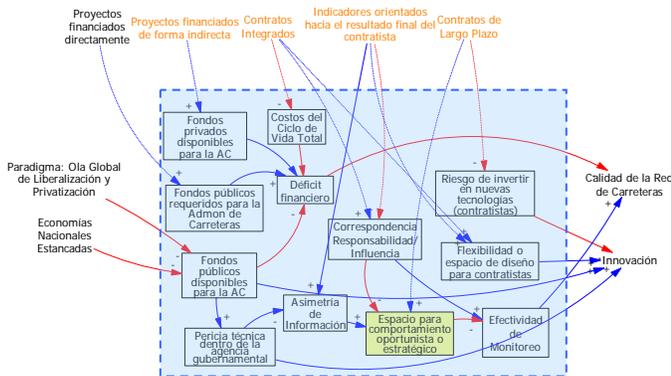


Fig. 7. Vista sistémica de la cuarta tendencia en la contratación de proyectos

G. Formulando el problema

Finalmente una vez que la evolución de estas cuatro tendencias ha sido comprendida, una formulación del problema mas completa y clara puede ser elaborada.

Tomando en cuenta la necesidad de atraer empresas privadas en el sector de infraestructuras de carreteras- de tal manera estas contribuyan a la revitalización de este sector con sus fuentes de financiamiento y su capacidad de innovar- y la necesidad de un enfoque en asuntos y objetivos estratégicos; parece claro que nuevas estrategias de contratación de proyectos y administración de carreteras, son necesarias.

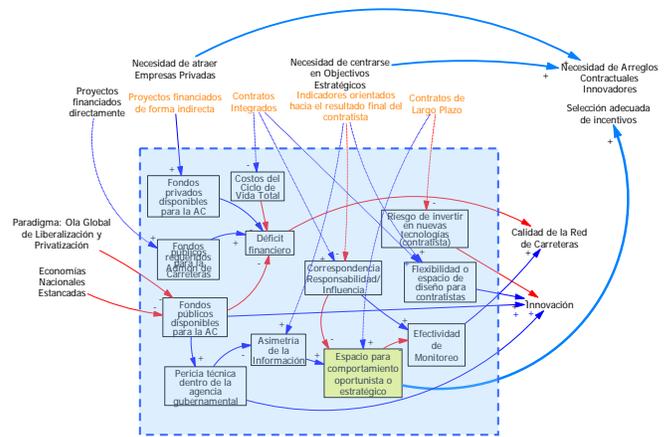


Fig. 8. Visión sistémica del problema

Además, tomando en cuenta el hecho de que todas las soluciones que han sido dadas a los problemas cambiantes del sector administrador de carreteras, han más bien incrementado el espacio o las posibilidades para que los contratistas actúen de manera oportunista o estratégica; la correcta selección de incentivos a ser usados en el contrato, se ha vuelto un asunto de vital importancia.

Por consiguiente, el problema que los sistemas nacionales de administración de carreteras, así como los administradores de otras infraestructuras de red enfrentan dentro de este nuevo paradigma de administración pública; puede ser expresado como un delicado compromiso, dilema o “trade-off”: Cómo incrementar la contribución que el sector privado –como fuente de financiamiento, innovación y de mejoras a la eficiencia- manteniendo al mismo tiempo al mínimo, el espacio que los contratistas tienen para comportarse oportunistamente, y los efectos que este tipo de

comportamiento pueda tener en el desempeño global de las red de carreteras.

VI. RESULTADOS HASTA LA FECHA

Los resultados de la aplicación del enfoque de Pensamiento Sistémico han sido bastante positivos. Lo que refiere al contenido mismo del proyecto de investigación, tal y como ha sido presentado en este artículo, el uso de diagramas de sistemas nos ha ayudado a entender mejor la naturaleza del problema y los mecanismos que lo han generado. El objetivo principal de la investigación era inicialmente estudiar las prácticas innovadoras en el campo de la Administración de Carreteras. Gracias al conocimiento práctico de los socios en la industria y el uso de Pensamiento Sistémico, se ha podido alcanzar una formulación de objetivos mucho más clara. La proyecto tiene ahora como objetivo estudiar y analizar como diferentes países y sus agencias Nacionales de Administración de Carreteras han dado solución al dilema o compromiso de: Cómo incrementar la contribución que el sector privado –como fuente de financiamiento, innovación y de mejoras a la eficiencia- manteniendo al mismo tiempo al mínimo, el espacio que los contratistas tienen para comportarse oportunamente, y los efectos que este tipo de comportamiento pueda tener en el desempeño global de las red de carreteras.

En lo que se refiere al proceso de investigación, el uso de diagramas de sistemas durante los encuentros de la Plataforma de Intercambio de Conocimiento ha producido el siguiente valor agregado. Primero, las discusiones se concentraron en importantes cuestiones de contenido y poco tiempo se perdió en la resolución de malentendidos. Segundo, todos los socios, a pesar de sus diferentes perspectivas, los diferentes roles que juegan en el problema y por tanto sus diversos y algunas veces hasta contradictorios intereses, estuvieron de acuerdo con la formulación del problema presentada. Tercero, los socios de la plataforma en la cual este enfoque ha sido utilizado se han mostrado más entusiastas y comprometidos con el proyecto y han ofrecido sus organizaciones para la realización de casos de estudios,

Sin embargo, a pesar de estos positivos resultados, con el fin de mantener la relación

motivadora e interesante en el pargo plazo para ambos partidos, una implementación más a fondo del enfoque de sistemas es necesaria. El método propuesto es el llamado “learning loop” el cual ha sido desarrollado dentro de la disciplina de Dinámica de Sistemas. Este concepto ha probado ser una guía útil para la implementación de modelaje en grupos dentro de la Plataforma de Intercambio de Conocimiento. El ejercicio de modelaje en grupos aseguraría en la relación un compromiso constante por parte del mundo práctico y del mundo académico, a través de todo el proceso hasta que un Modelo Dinámico de Sistemas haya sido creado, validado y pueda empezar a ser implementado para la evaluación de políticas.

VII. LA PROPUESTA DE EL CICLO EXTENDIDO DE APRENDIZAJE Y DE LA METODOLOGÍA DE MODELAJE EN GRUPOS

En el Análisis de Sistemas al igual que en la Dinámica de Sistemas, toda hipótesis debe ser considerada dinámica y su modificación debe ser considerado un proceso en sí mismo [11]. En realidad todo proceso de modelaje en si mismo hace uso del Ciclo Extendido de Aprendizaje (Extended Learning Loop). Sin embargo, muchas veces los modeladores no están conscientes de este ciclo y por lo tanto el proceso no es manejado activa y ordenadamente. Solo cuando este enfoque es usado intencionalmente y de una manera ordenada, puede explotarse el potencial total del proceso.

A. El Ciclo Extendido de Aprendizaje

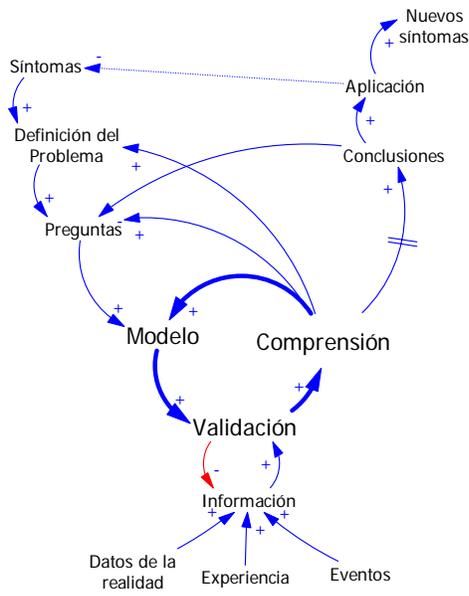


Fig. 9. Modelo del Ciclo Extendido de Aprendizaje

Este modelo es presentado en Figura 9. Tal y como se muestra en el modelo cuando un problema recién se descubre la información se encuentra normalmente desorganizada. Con frecuencia la información es presentada como una mezcla de fenómenos, problemas, síntomas, preocupaciones, quejas, mecanismos propuestos y soluciones parciales. Para poder entender el problema se hace necesario ordenar, organizar y estructura toda esta información. El proceso de modelaje a seguir se puede tomar del Ciclo Extendido de Aprendizaje. La secuencia es como sigue:

- 1) Al estudiar el problema por primera vez se descubren los síntomas.
- 2) Una vez que los síntomas han sido explicados surge una definición del problema, la estructura causal escondida detrás del problema ha sido trazada y los mecanismos de retroalimentación han sido explicados.
- 3) Una pregunta específica dentro del problema ha sido planteada y los límites del sistema han sido fijados.
- 4) Un diagrama de ciclos de causas (Causal Loop Diagram, en adelante denominado CLD) y un diagrama de flujos e inventarios (Stock and Flow Diagram, en adelante denominado SFD) han sido realizados.

La revisión y validación del modelo es hecha a través de la iteración presentada en los pasos 5, 6 y

7. El modelo se valida haciendo uso de diferentes tipos de información.

Como puede observarse este es un proceso iterativo que sirve para entender mejor cómo se relacionan los síntomas con el problema y por lo tanto sirve para ganar una definición del problema más exacta. Finalmente todo estudio de Dinámica de Sistemas termina con una conclusión (paso 8) lo cual es básicamente responder las preguntas que fueron planteadas y aplicar medidas correctivas que creen un comportamiento del sistema favorable.

B. Modelaje en grupo – las cuatro fases para la innovación

El trabajo de modelaje en grupo es una parte importante de cualquier iniciativa de modelaje, ya que nos permite enfocarnos en resolver los problemas más complejos y desordenados que cuando se realiza de manera individual [12, 13]. El modelaje en grupo se ha vuelto un elemento clave para entender y manejar problemas complejos, de tal manera los pasos que se sigan para obtener soluciones para el problema, dependen y tienen como base el éxito del esfuerzo grupal de modelaje.

El modelaje en grupo requiere la selección apropiada de un grupo de personas que representen los intereses de los diversos actores y tomadores de decisión que hacen parte del problema; los cuales tienen un conocimiento único de las diferentes partes del problema.

Una cantidad considerable de estudios ha investigado como los diferentes individuos dentro de un grupo pueden ser facilitados para alcanzar una conceptualización del problema que a la vez represente una estructura de soporte adecuada para la toma de decisiones. Dentro de esta literatura se pueden identificar varios pasos en común recomendados para procesos de modelaje en grupo [12, 14-17]; por ejemplo, identificación del problema, conceptualización, formulación del modelo, evaluación e implementación. Estos pasos son aplicables a proyectos que solamente tienen como objetivo el desarrollo de un modelo conceptual, así como a proyectos que incluyen modelos de simulación como parte del trabajo de modelaje. Haraldsson [18] ha desarrollado un esquema que conceptualiza el proceso de modelaje como un proceso continuo e iterativo que pasa por

cuatro etapas: Definición, Clarificación, Confirmación e Implementación (este esquema puede verse en Figura 10).

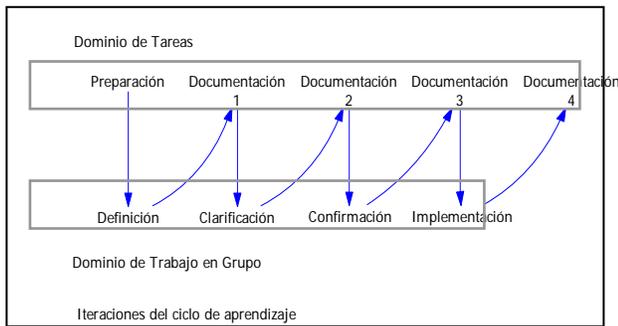


Fig. 10. Resumen de los flujos y procesos tomando lugar en el modelaje de grupos

Estas cuatro fases pueden ser definidas como sigue:

- I. *La fase de definición:* Aquí toman lugar discusiones acerca del problema a ser investigado así como la identificación de tareas necesarias para el Análisis del Sistema. Todos los actores y tomadores de decisión implicados son invitados a participar para juntos recolectar la mayor cantidad de información en cuanto a los síntomas del sistema y con ello definir los límites del mismo. Haciendo uso de las preguntas de los participantes, los objetivos y la hipótesis del estudio son identificados. Aquí también se identifican y trazan las primeras estructuras causales, por medio del uso de CLDs. Varias iteraciones del Ciclo de Aprendizaje toman lugar dentro de esta primera fase.
- II. *La fase de clarificación:* En esta fase se realizan los modelos conceptuales del problema haciendo uso de representaciones gráficas del mismo. Se utilizan CLDs y SFDs como herramientas de exploración del problema así como base para la construcción del modelo. Los objetivos y la hipótesis del estudio son trabajadas en más detalle. Eventualmente, esta fase puede generar el entendimiento suficiente del problema de tal manera que los análisis realizados sirven de documentación para convertir el modelo es una herramienta de simulación.

III. *La fase de confirmación:* Esta es la fase donde la estructura del sistema se verifica. Se alcanza aquí la máxima comprensión de cual es la pregunta “correcta” y cuales son los factores más relevantes para darle respuesta a ésta. Es aquí por lo tanto cuando los límites del sistema y los supuestos y limitaciones del estudio son fijados de forma definitiva. La hipótesis se valida de forma iterativa (haciendo uso del Ciclo Extendido de Aprendizaje) lo que signifique que las predicciones y supuestos planteados en la fase de exploración se comparan con datos reales, previos estudios y la experiencia de expertos en el tema. Este estudio se concluye cuando se logra responder las preguntas de la investigación, cuando estas respuestas son validadas y toda la incertidumbre restante ha sido documentada. Los participantes del proceso documentan los resultados y las preguntas adicionales que surgieron del proceso de modelaje en grupo.

IV. *La fase de implementación:* En esta fase se desarrollan y se implementan políticas y herramientas, haciendo uso de las conclusiones del estudio.

La Fig. 10 resume como esta forma de modelaje en grupo (dominio de trabajo en grupo) se convierte es un proceso de participación con un número de encuentros determinado y para cada uno de los cuales una tarea ha sido preparada y definida con anticipación. A través de este proceso participativo se logra una visión clara de la estructura del sistema, una comprensión del problema validada por los participantes y en general un conocimiento profundo del problema documentado debidamente y posteriormente implementado a manera de políticas o herramientas. La preparación y documentación del proceso se realiza entre una través de el dominio o esfera de tareas.

VIII. EVALUACIÓN DE LOS AVANCES DE LA APLICACIÓN ACTUAL

Los conceptos “Ciclo Extendido de Aprendizaje” y “Modelaje en grupos” parecen ser los indicados para evaluar el avance que esta aplicación de Dinámica de Sistemas representa. Como

Haraldsson [18] afirma, darse cuenta que el proceso de modelaje en grupo sigue estas cuatro diferentes fases es lo que le brinda al grupo una especie de “medida” de dónde está ubicado dentro del proceso de modelaje y que “queda por hacer” para validar la comprensión del problema que se ha logrado y eventualmente implementar medidas correctivas. Manejar este proceso de modelaje no es fácil, ya que juegos de poder, comportamientos políticamente correctos y el prestigio de los participantes entre otros, pueden obstaculizar y oscurecer el proceso.

Por tanto, el objetivo de estas cuatro fases es ayudar a ambos, al facilitador del proceso tanto como a los participantes, a descubrir hacia donde los están llevando las decisiones que toman y si están moviéndose en la dirección adecuada. Es de esta manera que el enfoque de Dinámica de Sistemas, descrito en la gráfica anterior, se vuelve un proceso de aprendizaje continuo.

La aplicación concreta presentada en este artículo parece la hipótesis y objetivos del estudio han sido planteados, las primeras estructuras causales han sido trazadas y al mismo tiempo representaciones gráficas del problema y por tanto ciertos modelos conceptuales han sido ya desarrollados. Parece entonces que el proceso se está moviendo en la dirección correcta.

Sin embargo, al evaluar el proceso tomando en cuenta el concepto de “ciclo extendido de aprendizaje” parece ser que más iteraciones necesitan ser consideradas y realizadas antes de pasar a las siguientes fases. Estas iteraciones son necesarias para construir suficiente consenso entre los participantes y validar la información y los modelos conceptuales generados hasta la fecha lo suficiente como para ser capaces de construir un modelo de simulación en la fase II.

IX. RECOMENDACIONES

Luego de haber usado los conceptos “ciclo extendido de aprendizaje” y “modelaje en grupos” se recomienda:

- 1) Realizar nuevas iteraciones del ciclo de aprendizaje tanto a nivel interno, haciendo uso de fuentes de información escrita, así como con la ayuda de los socios del proyecto provenientes del mundo práctico. Una alternativa sería la

realización de un meta-análisis, los resultados del cual podrían validarse durante sesiones con los expertos presentes en las próximas sesiones plenarias de la Plataforma de Intercambio del Conocimiento.

- 2) Revisar si el grupo actual que forma la plataforma es suficientemente representativo de todos los intereses y actores presentes en el problema. En caso de que no lo sea se puede considerar la posibilidad de invitar a nuevos miembros a la plataforma o simplemente invitar otros integrantes a algunas de las sesiones plenarias solamente.

- 3) Hacer más énfasis durante las sesiones en descubrir ciclos de retroalimentación en el sistema y con ello pasar a un estudio más detallado del problema.

- 4) Finalmente se recomienda que una vez que se haya arribado a un conocimiento y consenso suficiente en el grupo se continúe con las demás fases del modelo propuesto por Haraldsson [18] y se hagan todos los esfuerzos posibles para desarrollar un modelo de simulación que le sirva de soporte tanto a los investigadores como a los tomadores de decisión y que por tanto compense los esfuerzos de ambos y sienta las bases para otros esfuerzos conjuntos en el futuro.

REFERENCIAS

- [1] H. Haraldsson and H. Sverdrup, "Finding Simplicity in complexity in biogeochemical modelling," in *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*, J. Wainwright and M. Mulligan, Eds. New York: Wiley, 2003, pp. 211-223.
- [2] S. v. Herk, P. M. Herder, M. J. d. Jong, and D. Alma, "Opportunities and Threats for Granting More Design Space to Road Contractors*," presented at IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004.
- [3] A. Cervera and R. E. Minchin, "The Change to End-result Specifications: Where Are We Now?," in *TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM*, 2003.
- [4] J. B. Miller, *Principles of Public and Private Infrastructure Delivery*. London: Kluwer Academic, 2000.

- [5] R. Y. Cavana and K. E. Maani, *Systems thinking and modelling : understanding change and complexity*. Auckland: Prentice Hall, 2000.
- [6] A. Salminen and O.-P. Viinamäki, *Market Orientation in the Finnish Public Sector. From Public Agency to Privatised Company*. Helsinki: Ministry of Finance and University of Vasa, 2001.
- [7] M. J. Arentsen and R. W. Künneke, "National reforms in european gas," in *Global Energy Policy and Economics*. Dordrecht: Elsevier, 2003.
- [8] J. Buchanan and G. Tullock, *The calculus of consent*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1962.
- [9] P. Pakkala, "Innovative Project Delivery Methods for Infrastructure -An International Perspective," 2002.
- [10] R. A. Lambert, "Contracting Theory and accounting," *Journal of Accounting and Economics*, vol. 32, pp. 3-87, 2001.
- [11] J. Homer and R. Oliva, "Maps and models in system dynamics: a response to Coyle," *Systems Dynamics Review*, vol. 17, pp. 347-355, 2001.
- [12] J. Vennix, *Group Model Building*. New York: Wiley, 1996.
- [13] P. Checkland, *Systems Thinking, Systems Practice, Includes a 30-year retrospective*. New York: Wiley, 2000.
- [14] J. Randers, *Elements of the System Dynamics Method*. Cambridge: Productivity Press, 1980.
- [15] J. Vennix, D. Andersen, P. Richardson, and J. Rohrbaugh, "Model-Building for Group Decision Support: Issues and alternatives in knowledge Elicitation," *European Journal of Operational Research*, vol. 59, pp. 14-28, 1992.
- [16] D. Ford and J. Sterman, "Expert knowledge elicitation to improve formal and mental models," *Systems Dynamics Review*, vol. 14, pp. 309-340, 1998.
- [17] K. E. Maani and R. Y. Cavana, *Systems Thinking and Modelling, Understanding Change and Complexity*. Auckland: Prentice Hall, 2000.
- [18] H. Haraldsson, *Developing methods for modelling procedures in System Analysis and System Dynamics. Doctoral Thesis*. Lund: Lund University, 2005.

Mónica Altamirano, Estudiante de Doctorado

Licenciatura en Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad Thomas More, Nicaragua y Maestría en Ingeniería de Sistemas y Análisis de Políticas, TU Delft, Holanda. Estudiante de doctorado de la Facultad Tecnología y Análisis de Políticas (TBM), TU Delft. Supervisión de grupos para la realización de proyectos del curso modelaje de Sistemas Continuos de la facultad TBM.

Hördur V. Haraldsson, Doctor

Licenciatura en Geología de la Universidad de Islanda y Maestría en Ciencias Ambientales de la Universidad de Lund, Suecia. El 11 de Marzo del 2005 defendió su tesis doctoral de título: Desarrollando Métodos para Procedimientos de modelaje en Análisis de Sistemas y Dinámica de Sistemas. El enseña en el curso Análisis de Sistemas del programa LUMES, el programa de Maestría en Ciencias Ambientales de la Universidad de Lund.

CYCLICAL BEHAVIOR AS A FUNCTION OF MARKET COMPLEXITY: EXPERIMENTS ON COMMODITY MARKETS

Santiago Arango & Erling Moxnes

System Dynamic Group

University of Bergen

P.O. 7800 5020 Bergen, Norway

Santiago.Arango@ifi.uib.no

ABSTRACT

This paper examines market behavior in a series of Cournot market experiments with five sellers. Step by step, we add complexity (and realism) to the simplest market. First, we introduce long lifetimes of production capacity. Second, we introduce a two period investment lag. Consistent with previous experiments and the rational expectations hypothesis, we found no evidence of cycles in the basic and the capacity lifetime experiments. Average prices are close to Cournot Nash equilibrium with a bias towards competitive prices. In the investment lag treatment, spectral and autocorrelation analysis show signals of cyclical tendencies, which results are consistent with the application of simple adaptive expectations. However, we found no support for this heuristic in the data from the experiments.

ACKNOWLEDGE

Thanks to the Faculty of Mines, at the National University of Colombia in Medellín, for recruiting students and providing computer labs. We also thank the System Dynamics Group, University of Bergen, Norway, for the financial support.

1 INTRODUCTION

There seems to be a widespread belief that commodity markets show cyclical behavior (Spraos 1980; Cuddington and Urzua, 1989; Cashin et al, 2002, Daton and Laroque, 1992, 1996, and 2003) and that fluctuations have significant negative effects for consumers, producers and developing countries¹ (Deaton, 1999; Takamasa, 2001). In spite of this, most modern introductory textbooks in economics either ignore commodity cycles (ex. Mankiw, 2004; Sloman, 2002; Samuelson and Nordhaus, 2001; and Case and Fair, 1996) or they deal with the phenomenon using the highly simplified cobweb model (ex. Lipsey and Chrystal, 2003). The apparent lack of more elaborate models may be one important reason for several authors to claim that commodity cycles are poorly understood (Cashin et al, 2002; Deaton and Laroque, 2003). With few exceptions, journal articles dealing with commodity cycles also resort to highly simplified models. Similarly, laboratory experiments of commodity markets have used very simple designs. In this paper, step by step, we add complexity (and realism) to the simple commodity market model and test the effects on behavior in an accompanying laboratory experiment. Both cyclical behavior and efficiency are considered.

Most experimental markets do not include dynamic structures and are reset each period (f. e. Plott, 1982; Smith 1982). There are no elements carrying over to future periods, such as inventories, capacities, and unfulfilled orders. Dynamics have, however, been introduced by lagged supply models (Carlson, 1967; Sonnemans et al., 2004; Holt and Villamil, 1986; Sutan and Willinger, 2004) and by

¹ In fact, around 25% of the world merchandise trade is accounted by primary commodities and many developing countries are dependent of only one or few commodities for their exports (Cashin and Patillo, 2000).

repeated play Cournot models (Rassenti et al., 2000; and Huck et al., 2002). While the predicted cycles of the Cobweb theory did not materialize in these experiments, some random fluctuations were sustained. Asymmetries in costs lead to stronger random fluctuations (Rassenti et al., 2000). Our experiments can be seen as a continuation of an existing development towards increasing complexity in experimental markets, where dynamic decision making problems are involved.

Our first experimental treatment (T1) involves a simple lagged supply model with symmetric constant marginal costs and a linear demand function. Hence, we start out with a design similar to previous designs (it is a homogeneous Cournot market under standard conditions, Huck, 2004). Thus, it provides a link between the literature and the ensuing treatments. In a second treatment (T2), we relax the assumption that the supply capacity lasts for only one period. Typically physical capital lasts many years, over which repeated investment decision will be made and new capacity is added to existing capacity. Vintages are introduced. The third treatment (T3) keeps the vintages and we add an extra delivery delay for investments. Typically capacity additions require a sequence of operations: planning, choice of suppliers, production of parts, transportation, construction, and testing, or time for gestation and growth in biological production systems. In total, capacity additions take several years in most commodity markets. In our case, the lag is such that one new investment decision will be made before an ordered investment is in place.

We formulate the null hypothesis based on the rational expectations hypothesis (Muth, 1961) and the standard assumption about optimal decision making. The null hypothesis is convergence to a stable Nash equilibrium. Minor and seemingly random variations around the equilibrium value will be consistent with this hypothesis. Systematic cyclical tendencies are not consistent with the hypothesis. Rational agents could predict these and benefit from countercyclical investment decisions, which in time would stabilize the market.

The alternative hypothesis is formulated based on the bounded rationality theory (Simon, 1979), assuming that complex dynamic problems are approached with heuristics (Tversky and Kahneman, 1987). The heuristics are used instead of the truly optima strategies, since cognitive capabilities are limited and there are considerable deliberation costs. Such heuristics could lead to optimal results for simple problems, while they are likely to deteriorate with increasing complexity. Experimental support for bounded rationality theory comes from a series of experiments showing deteriorating performance with increasing dynamic complexity (Paich and Sterman, 1995; Diehl and Sterman, 1995; Kampmann 1992; Sterman 1989, Herrnstein and Prelect, 1991, Moxnes, 2004). The choice of heuristics is case dependent and may vary over individuals (Tversky and Kahneman, 1987; Conlisk, 1986a). Hence, while there is only one strategy and one outcome according to the rational expectations theory (the optimizer), there are many possible heuristics and outcomes for bounded rational agents. When formulating our heuristics, we will draw on findings in experiments with similar dynamic complexity.

Regarding market efficiency, it is difficult to predict the outcome of bounded rationality. While simplified heuristics may lead to biases relative to preferable individual outcomes, the bias may draw the market outcome both in the directions of monopoly and perfect competition. The current literature does not present a clear prediction in efficiency in our case, especially with the ambiguous views for outcomes of the bounded rationality theory (Conlisk, 1996a, and Foss, 2003). Hence, in this regard we consider the experiment exploratory.

Regarding cyclical behavior, we formulate a more precise hypothesis. We propose a heuristic that expresses the intended rationality of the subjects in the decision making problem. The heuristic is based on adaptive expectations formulated by Nerlove (1958) in his analysis of the Cobweb theorem. In fact, previous experiments suggest that people approach the simple lagged supply decisions with a simple heuristic of the adaptive expectations type (e. g. Carlson, 1967; Sterman, 1987b; Heiner, 1989). Analysis shows that this heuristic leads to fast convergence of markets of the type in T1. In T2, the heuristic gives the same result, given that the players do not get unnecessarily confused by the introduction of vintages. In T3, the heuristic leads to cyclical behavior. In this case, the adaptive expectation heuristic is inappropriate because of the extra investment lag. However, previous studies

suggest that people tend to ignore time delays through supply lines (Sterman, 1989; Diehl and Sterman, 1995; and Barlas and Günhan, 2004).

Evidence of cyclical tendencies is presented in a number of one player experiments (Sterman, 1987a; Sterman, 1989; Bakken, 1993; Diehl and Sterman, 1993, and Barlas and Günhan, 2004). Sterman (1989) and Diehl and Sterman (1995) show oscillatory behavior as a result of ignorance of the supply line of pending production is important in all these studies. An interesting question is if this effect will show up in a market setting.

In a market setting, Kampmann (1992) presented evidence of cyclical tendencies. Kampmann (1992) also observed how cycles emerge when the complexity is increased. The complex treatments had three-period lag in production and a multiplier effect on demand; while the simple treatments did not have these elements. Both complex and simple treatments in combinations with three price institutions: fixed, posted, and clearing prices. In the simple conditions, the markets stabilized according to the predictions of the neoclassical economic theory, but it failed to explain behavior in the complex conditions. Heuristics based on the bounded rationality theory explained the emerging cyclical behavior, in particular when the price institution was fixed and posted, but not for the clearance price conditions. In the clearance price conditions, he observed an initial overshoot with a gradual settlement to equilibrium. Kampmann's experiments did not include vintage in the production (as we do in our experiment) and the additional complexity included both long delay and the demand multiplier effect (we only increased one extra period delay). The market clearance institution is also different. He used a constant elasticity of substitution to estimate individual output prices, while we aggregate production to "clear" an only one market price.

In section two we present the design and the hypothesis of the experiment, where the complexity is increased step by step across treatments. Section three presents the results and section four the tests. We observe the traditional Cournot Nash equilibrium model is valid in T1 and T2, but oscillatory behavior emerged when complexity is increased. Finally, we present in section five the discussion and conclusions of the experiment.

2 EXPERIMENTAL DESIGN (AND HYPOTHESES)

2.1 Treatment T1: Standard five players Cournot market

The first treatment corresponds to a computerized experiment of a homogeneous Cournot market with linear demand and constant marginal cost, under Huck's standard conditions². There are five symmetric firms in each market, each represented by one player. Each subject chooses production between 0 and 20 units each period. The market price is determined by a linear inverse demand function with a nonnegative restriction. Information about the realized price and profits is given the next period. Thus, there is a one period production lag, which makes the experiment dynamically identical to the traditional Cobweb design. Similar results were obtained for increasing (Carlson, 1967, Sutan and Willinger, 2004) and constant marginal costs (Rassenti et al., 2000; and Huck et al., 2002). The market price in period t is,

$$P_t = \text{Max} (6 - 0.1 * \sum_{i=1}^5 q_{i,t} , 0) \tag{1}$$

² Standard conditions (Huck, 2004, p.106): a. Interaction takes place in fixed groups; b. Interaction is repeated over a fixed number of periods; c. Products are perfect substitutes; d. Costs are symmetric; e. There is not communication between subjects; f. Subjects have complete information about their own payoff functions; g. Subjects receive feedback about aggregated supply, the resulting price, and their own individual profits.; h. The experimental instructions use an economic frame.

where $q_{i,t}$ is the nonnegative production of subject i in period t . Note that $q_{i,t}$ is equal to the investment made by subject i the period $t-1$ ($q_{i,t} = x_{i,t-1}$). The profit function in experimental dollars (ES) for subject i in period t is,

$$\pi_{i,t} = (P_t - c) q_{i,t} \quad (2)$$

where the marginal cost $c=1$ ES/Unit. The number of periods is large enough to allow learning and eventually convergence, up to 40 periods.

2.2 Treatment TII: TI with production capacity lasting four periods

Treatment TII is equal to treatment TI except that production capacity is introduced. Production capacity lasts for more than one period. This is the typical case in production sectors of the economy. Treatment T1 represents the more special case of agricultural products that are planted in one season and harvested the next. The investments are measured in production units to simplify the task for the subjects. As in TI, it takes one period before new production capacity is in place and capacity lasts four periods. Full capacity utilization is assumed at all times as is implicitly assumed in TI. Thus, production is equal to the sum of capacities of all four vintages,

$$q_{i,t} = \sum_{j=t-4}^{j=t-1} x_{i,j} \quad (3)$$

where $x_{i,j}$ is the investment decision made in years $j=t-4$ to $j=t-1$. Note that in equilibrium, yearly investments will be one fourth of the desired yearly production.

2.3 Treatment TIII: TII with a one period extra investment lag

This treatment is the same as TII except for an extra one period investment lag. In many industries the investment lag stretches over several years. This means that there will be a period after an investment decision has been made where the firm is producing with the existing capacity only and where it may make new investment decisions. This is captured in treatment TIII by lagging capacity by one period such that production is given by,

$$q_{i,t} = \sum_{j=t-5}^{j=t-2} x_{i,j} \quad (4)$$

where $x_{i,j}$ is the investment decision made in years $j=t-5$ to $j=t-2$. Capacity lasts four periods as in TII.

2.4 Experimental Procedure

The experiments followed the standard framework used in experimental economics, with the same procedures in the three treatments. Subjects were recruited from the same student population and during the same time period. The subjects were students of fourth and fifth year of Management and Industrial Engineering at the National University of Colombia, Medellín. Each treatment was run with 5 markets. No subject had previous experience in any related experiment and none of them participated in more than one session. Subjects were told that they could earn between Col \$ 15000 and Col \$ 40000 (\$6 –\$16 at that time) in about one hour and a half (circa 1.5 to 2.5 times a typical hourly wage to students). They knew that rewards were contingent on performance, which was measured in cumulative profits.

Upon arrival subjects were seated behind computers. Groups were formed in a random way. There were two or three markets per session, and subjects could not identify rivals in the market. Instructions

(in Spanish) were distributed and read aloud by the experimenter. An English translation of the instructions of treatment TIII can be found in Appendix 2. Subjects were allowed to ask questions and test out the computer interface.

In all treatments, parameters of the experiment were common knowledge to all subjects, including the symmetry across firms. The initial condition was a total industry production of 55 Units and individual productions of 11 Units. Thus, the price started out at 0.5 E\$/Unit. These initial values were identical across treatments.

The subjects were also asked to forecast the price for the next period, except in TIII where they were asked to forecast the price for the period after the next one. Extra reward was given for good forecasting, measured by the accumulated forecasting error. The rewards could vary from 0 for forecast errors above an upper limit to Col \$ 8000 (around US\$3) for perfect forecasts.

The experiments were run in a computer network using the simulation software Powersim Constructor 2.51. The experimental market was easily programmed; the software ran automatically and kept record of all variables including the subjects' decisions. Subjects were also asked to write down their decisions on a sheet of paper to keep a memory of past decisions and to provide a backup of the experiment. The software interface for TIII is presented in Appendix 2 and the experiment is available upon request.

2.5 Testable Hypotheses

First, we consider the null hypothesis of equilibrium according to the relevant traditional economics model and based on rational expectations. Second, we present the alternative hypothesis based on bounded rationality. Both efficiency and cyclicity are considered.

2.5.1 Rational Expectations Hypothesis: Cournot Nash equilibrium

From a theoretical point of view, the markets across treatments have the conditions to converge to a unique Cournot Nash equilibrium (CN). Subject should be able to maximize their utility and to make the optimal capacity and, therefore, the CN equilibrium is the benchmark for price levels. This first hypothesis assumes that there is a rapid convergence to equilibrium for T1.

According to the first conditions for profit maximization of the CN equilibrium, the optimal capacity is time independent in the equilibrium. The capacity is the addition of the investments decisions x_i , which are also time independent in the equilibrium. Thus, the subjects must split the total aggregated productions equally according to the vintages and make a constant investment. Hence, the CN equilibrium is equal across treatments on the aggregate production, but in treatment TII and TIII the subjects must split the total aggregated productions equally according to the vintages. Table 1 presents the individual decisions of each player each period in the equilibrium.

Table 1. Equilibriums of the experimental markets

	Individual Investment [Units] TI / TII - TIII	Total production [Units]	Price [\$/Unit]	Individual Payoff [\$]	Welfare lost [\$]
Joint max	5.0 / 1.3	25	3,5	12,5	31,25
CN equilibrium	8.3 / 2.1	41,67	1,83	6,94	3,47
Competition	10.0 / 12.5	50	1	0	0

The experimental results may show biases relative to the CN equilibrium. In fact, previous experiments have already shown some bias toward competitive levels for oligopolies with five players, as well as random variations around the equilibrium much less than one standard deviation (Huck,

2004; Huck, et al., 2004). However, those experiments did not include the investment lags and capacity vintage. To illustrate, Table 1 also presents the equilibrium values for perfect competition and joint maximization (See **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** for derivation).

The classical economic theory suggests no cyclical behaviour but stability. Economic theory normally attributes cyclical behaviour to external shocks or disturbances, in commodity markets for example, see Cuddington & Urzua (1989) and Cashin *et al.* (2002). Any predictable cyclical tendency that could be used by agents and benefit from countercyclical investment decisions is not consistent with the hypothesis. Therefore, no cyclical behaviour is expected for all treatments, but random variations. The random variations may occur for a number of reasons, such as learning, variety of strategies, etc.

To summarize, we formally restate the two hypotheses:

Hypothesis 1: *Average prices are equal across treatments and equal to Cournot Nash equilibrium predictions presented in Table 1.*

Hypothesis 2. *The market price does not face the occurrence of cycles, but random variations around the equilibrium. Moreover, Standard deviations of prices are equal across treatments are equal.*

2.5.2 Bounded Rationality: Heuristics

The alternative hypothesis is based on the bounded rationality theory. We hypothesize that agents use simple heuristics, which express the intended rationality of the subjects. In order to test the alternative hypothesis that cyclical tendencies increase with complexity, we state the proposed decision rule (heuristic) to explain the salient behaviour. Heuristics are used instead of truly optimal strategies, since cognitive capabilities are limited and there are considerable deliberation costs. Subjects, unable to maximize and make the optimal decision at once, try to control the capacity through a heuristic, so they adjust the capacity in order to produce the optimal level according to the expectation of return of capital. Following, we consider several methodologies to understand the nature of the stochastic processes and characterize the eventually cyclical behavior, in order to overcome the possible misleading judgments of visual inspection and to provide a framework to judge the stability of the markets.

Proposed heuristic

The decision rule determines the investment decision at each time. The decision rule assumes that the subjects, unable to maximize and make the optimal decision at once, try to control the production through a heuristic. The heuristic assumes that people are not able to follow the optimal strategy (rational behavior), instead they adjust the capacity in order to produce the optimal level according to the expectation of return of capital. In order to adjust the capacity to the desired level, each subject is assumed to take into account: *i.* the expected losses of capacity for depreciation; *ii.* to correct the discrepancy between the desired capacity and the actual capacity; and *iii.* to keep an adequate supply line of capacity by reducing the discrepancy between the desired and the actual ordered capacity. The formal presentation of this heuristics requires investments:

$$x_t = \text{MAX}(0, ix_t) \quad (5)$$

where x_t , as presented before, is the investment at time t and ix_t is the indicated investment. The indicated investment is based on the anchoring and adjustment decision (Tversky and Kahneman, 1994) and inspired on the application to a related problem (Sterman, 1989). The subjects are assumed to adjust the capacity to the desired capacity according to the expected profitability. Profitability is estimated as the ratio of price over cost, where cost is constant equal one. Therefore, the expected profitability is understood to be equal to the expected price at time t , P_t^* . The indicated investment is:

$$ix_t = \text{RDC}_t + \text{AC}_t + \text{ASC}_t \quad (6)$$

where RDC_t is the replacement of depreciated capacity, AC_t is the adjustment of the capacity C_t , and ASC_t is the adjustment of the supply line of capacity SC_t . For simplicity, the adjustments are linear discrepancy between the desired and actual states, for both capacity and supply line of capacity:

$$AC_t = \alpha_C (C_t^* - C_t) \quad (7)$$

$$ASC_t = \alpha_{SC} (SC_t^* - SC_t) \quad (8)$$

where α_C and α_{SC} , are the adjustment factors of the discrepancy of capacity and supply line of capacity respectively; C_t^* is the desired capacity and SC_t^* is the desired supply line of capacity. The desired supply line is proportional to the desired capacity, where the proportion factor k involves the expected lag between investment decision and the capacity on line, with the following formulation:

$$SC_t^* = k \cdot C_t^* \quad (9)$$

The desired capacity is formulated as a function of the expected price, by assuming that profit drives the investment and rules the market equilibrium. As discuss before, the expected price represents the expected profits. To simplify, we propose a linear relationship that reflects the equilibrium level of the quantity. Thus, the function will cross the point (P^e, q^e) , where corresponds to the price and total quantity at the equilibrium level. Expected price higher than P^e , implies a desired quantity higher than q^e and vice versa. The formulation is:

$$C_t^* = a + b \cdot P_t^* \quad (10)$$

(Stoft, 2002); therefore, we formulate the desired capacity as a function of the expected profitability. Profitability is estimated as the ratio of price over cost, where the marginal cost is constant and equal to 1 \$/unit. Therefore, the expected profitability is understood to be equal to the expected price at time t , P_t^* . The desired capacity takes the form presented in Stoft (2002) for the analysis of investment dynamics in deregulated electricity markets. Stoft argues that many profit functions lead to the same optimal equilibrium of capacity, this is the only point of agreement, the differences among profit functions lead to different market dynamics. We proposed the simplest possible case; we propose a linear relationship that reflects the equilibrium level of the capacity. Thus, the function will cross the CN equilibrium point (P^e, q^e) . An expected price higher than P^e , implies a desired quantity higher than q^e and vice versa. The linear formulation is:

$$C_t^* = a + \left(\frac{q^e - a}{P^e} \right) \cdot P_t^* \quad (9)$$

Where a is a parameter, $a > 0$ and $a < q^e$. There are different formulations available for the expected price, P_t^* ; for example, static $P_t^* = P_e$ (a constant or equilibrium); extrapolative $P_t^* = \gamma \cdot P_{t-1} + (1-\gamma) \cdot P_e$; and adaptive $P_t^* = \theta \cdot P_{t-1} + (1-\theta) \cdot P_{t-1}^*$; among others. We selected adaptive expectations, formulated initially for Nerlove (1958) and previously used in related economic experiments (e. g. Carlson, 1967; Sterman, 1987b and 1989). The adaptive expectations are a first order difference in P_t^* , since price is a known function of time, the equation may be solved to obtain:

Where a and b are parameters, $a > 0$ and $b > 0$. There different available formulation for the expected price, P_t^* , for example static $P_t^* = P_e$ (a constant or equilibrium); extrapolative $P_t^* = \gamma \cdot P_{t-1} + (1-\gamma) \cdot P_e$; and adaptive $P_t^* = \theta \cdot P_{t-1} + (1-\theta) \cdot P_{t-1}^*$; among others. We select adaptive expectations, formulated initially for Nerlove (1958) and previously used in previous related economic experiments (e. g. Carlson, 1967; Frankel and Froot, 1987; Sterman, 1987b and 1989). The adaptive expectations is a

first order difference in P_t^* , since price is a known function of time, the equation may be solved to obtain:

$$P_t^* = \theta \cdot P_{t-1} + (1-\theta) \cdot \theta \cdot P_{t-2} + (1-\theta)^2 \cdot \theta \cdot P_{t-3} + \dots \quad (11)$$

Thus, since the desired capacity depends on the expected price, it will depend on past prices taken with a distributed lag according to the parameter θ . The parameter is called coefficient of expectations. Finally, the expected losses are assumed to be proportional to the capacity, according to its life time, LT. thus,

$$RDC_t = C_t/LT \quad (12)$$

Finally, the indicated investment end up as a linear function, f , as follow:

$$ix_t = f(ix_{t-1}, P_t, noise) \quad (13)$$

Simulations³ of the proposed heuristic were performed to observe the hypothesized behavior. The Figure 1 presents the simulations across treatment with (a) and without (b) noise. The simulations results indicate fast convergence to CE equilibrium in treatments TI and TII, and damping oscillations for treatment TIII. Note that the effects of the noise does not affect the equilibrium level, it only adds randomness to the long term equilibrium.

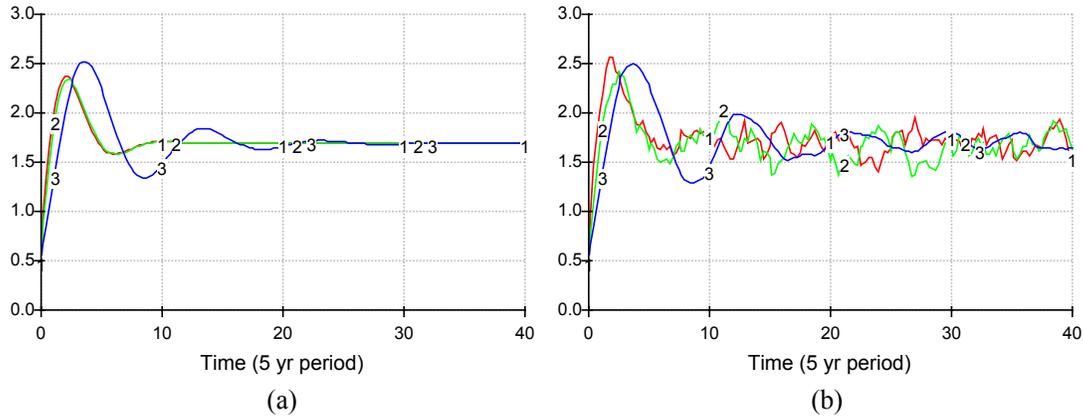


Figure 1. Price series for simulation of each treatment with the proposed heuristic, with (a) and without noise (b). Treatment TI: line 1 (red); Treatment TII: line 2 (Green); Treatment TIII: line 3 (blue).

Sensitivity of the adjustment factors (α_C and α_{SC}) of the discrepancy of capacity and supply line of capacity are presented in Figure 2. It is remarkable to observe that the lower the α_{SC} , the higher the oscillations, which indicates that to ignore the supply change leads to greater oscillation. To some extent, we expect that people will ignore the supply line of capacity, consistent Sterman's observation (1989), which may result into greater cyclical tendencies. Note that subjects do not have supply line for capacity for treatments TI and TII, which make the task easier to reach the optimal.

³ Parameters for this simulations were taken from the economic model for each treatment. The rest of parameters are: $\alpha_{SC} = \alpha_C = 0.5$, $\theta = 0.5$, $a = 10$, $b = 19.4$; noise $u_t \sim n(0,9)$. Losses of capacity are equal to the expected losses $LT=1$ (treatment TI) and $LT=4$ (treatments TII and TIII). The construction rate for the supply line of capacity SC, is assumed exponential: SC/CD , where the construction delay $CD=2$. Initial values are identical to the initial conditions of the experiment.

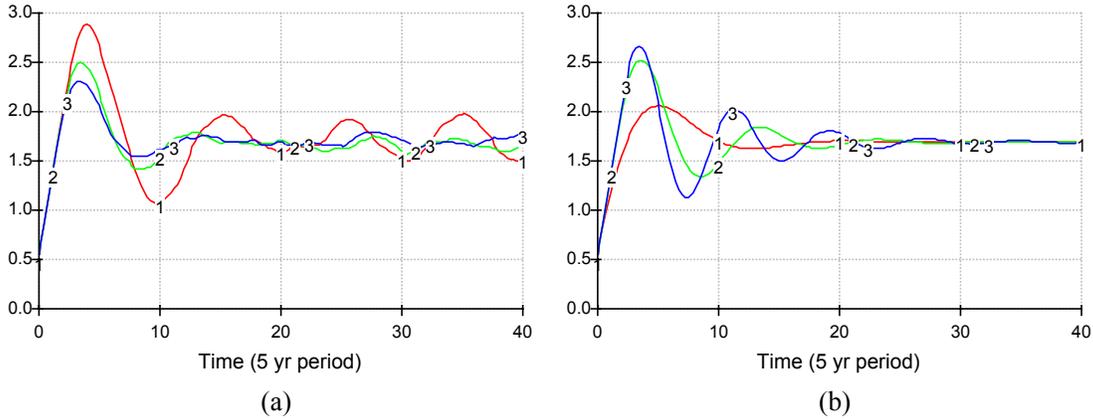


Figure 2. Sensitivity analysis for prices for treatment THH varying α_{SC} (a) and α_C (b). $\alpha_{SC} = \alpha_C = 0.1$ (red, line 1); $\alpha_{SC} = \alpha_C = 0.5$ (Green, line 2); and $\alpha_{SC} = \alpha_C = 0.9$ (blue, line 3).

To summarize, we present the next formal hypothesis:

Hypothesis 3: *the behavior of the markets can be explained according to the proposed heuristic in eq. (5), based on the bounded rational theory.*

Methodologies to characterize cyclical behavior

In order to judge whether there is a salient cyclical behavior; we use the following methodologies that help to identify cyclical tendencies in stochastic process.

Standard deviation (variance): The variance measures the dispersion of the data as the average of its squared deviation from its average (the squared root is the standard deviation). The lower the variance, the more stable is the system. This measurement takes into account all frequencies of the time series, therefore, it is needed to complement with frequency decomposition with the auto spectrum or auto spectral function of the variable.

Spectral analysis: The frequency decomposition of variance is called autospectrum or autospectral density function. Peaks in the autospectrum indicate that variance is concentrated at certain frequencies⁴. Thus, this technique can be used to detect periodicities in time series and estimate the lengths of the cycles. For instance, white noise has an autospectrum uniform; sine wave has an autospectrum totally concentrated at a single frequency (the period); and when both process are combined, the resulting autospectrum is the sum of individual spectra. For practical considerations, we consider that a market is more stable than another within a target frequency range if the variance is lower.

Correlation analysis (autocorrelation functions - autocorrelogram): Correlation analysis is based on covariance and it shows indications about cyclical or seasonal behavior. The autocorrelogram measure the linear relationship of the variable with itself at a given delay. It involves both amplitude as well as periodicity in time series. The autocorrelation function of a time series is most directly interpreted as a measure of how well future values of the data can be predicted based on past observations. Since a

⁴ Spectral analysis decomposes the time series in orthogonal components. Each component is associated with a particular frequency. The auto spectrum shows the contribution of each band to the total variance, or a measure of the frequency distribution of the mean equate value of the time series (details in Bendat and Piersol, 1993; and Box et al., 1994).

random process has autocorrelation functions diminishing rapidly to zero, we could interpret as cyclicity when there are values significantly different than zero.

3 RESULTS

We ran five markets on each treatment. Summary of the main statistics for observed price⁵ are presented in Table 2. It includes average, standard deviation, sample autocorrelation and the coefficient of variation, for the whole experiment and it is divided into two periods⁶. For every treatment, we observe that average prices vary between the competitive (1 \$/Unit) and the CN (1.8 \$/Unit) equilibrium price level for all groups. However, for treatment TII and TIII, there are 5 cases out of 10 out of such range in individual markets. A reduction in the standard deviation from the first to the second period is observed across treatments. Note also that, the average price is slightly reduced in TI, almost the same in TII; but there is a considerable increment in TIII. A very striking difference is observed with the autocorrelation. The average autocorrelation value is small in TI and TII, but it is very high in TIII (0.73 on average). The coefficient of variation is very similar on average from TI (0.35) to TII (0.38); but in TIII it increases significantly to (0.55), which suggests differences between treatments. Thus, the differences observed in autocorrelation and the coefficient of variation constitutes the initial indications for difference across treatments.

Table 2. Summary statistics for the realized price across treatments*

	Total data				First 20 periods				Remaining periods			
	\bar{X}	S	S/\bar{X}	α	\bar{X}	S	S/\bar{X}	α	\bar{X}	S	S/\bar{X}	α
Average TI	1,57	0,54	0,35	0,06	1,64	0,59	0,36	-0,04	1,52	0,35	0,23	0,16
Average TII	1,36	0,47	0,38	0,18	1,35	0,50	0,40	0,26	1,41	0,39	0,31	0,11
Average TIII	1,42	0,71	0,55	0,73	1,19	0,74	0,72	0,67	1,70	0,45	0,30	0,49

* \bar{X} : mean sample of prices; S: sample standard deviation; S/\bar{X} : coefficient of variation; α : sample autocorrelation.

To have a better picture of the observations, note in Table 1 the change in the coefficient of variation in connection with complexity, since the complexity is increased from treatment TI (simplest condition) to treatment TIII (most complex condition). All the treatments present a reduction in the coefficient of variation, but it is particularly remarkable the reduction in treatment TIII for around 50%, while the treatments TI and TII presents a reduction of only around 10%.

Typical behaviour of the realized prices per treatment is presented in Figure 1. It shows the salient pattern of behaviour of typical price series. It shows also the average autospectrum and autocorrelogram for each treatment (see the appendix 3 for all individual markets). In the figure, we observe that the average autospectrum for treatment TI and TII are more distributed over all frequencies, rather than concentrated on a certain frequency. Thus, it indicates that price formation process in treatments TI and TII comes from a random process; white noise has an autospectrum uniform and sine wave (perfect cycles) has an autospectrum totally concentrated at a single frequency (the period). The autospectrum for treatment TIII presents a different picture. The autospectrum

⁵ The analysis for prices and quantities are similar, since they are related with a linear function. We have chosen prices since the complexity of the market structure moves toward commodity market types, which are normally analysed with respect to the prices.

⁶ In this analysis, the first period corresponds to the first 20 experimental periods, and the second are the remaining ones.

presents concentration in the low frequency band, which gives signals for cyclical tendencies (long term cycles relative to the length of the time series).

The average autocorrelogram is also suggestive. Although there is no significant autocorrelation for TI and TII, it shows that the autocorrelation of prices is positive significant greater than zero for one and two lags for TIII. Thus, the autocorrelation shows similarities with the observed behavior of commodity prices. In fact, typical commodity prices moves positively autocorrelated even at annual frequencies (Deaton, 1999); and for most commodities, the first order autocorrelation coefficients are in excess of 0.8 (Cudington, 1992; Danton and Laroque, 1992).

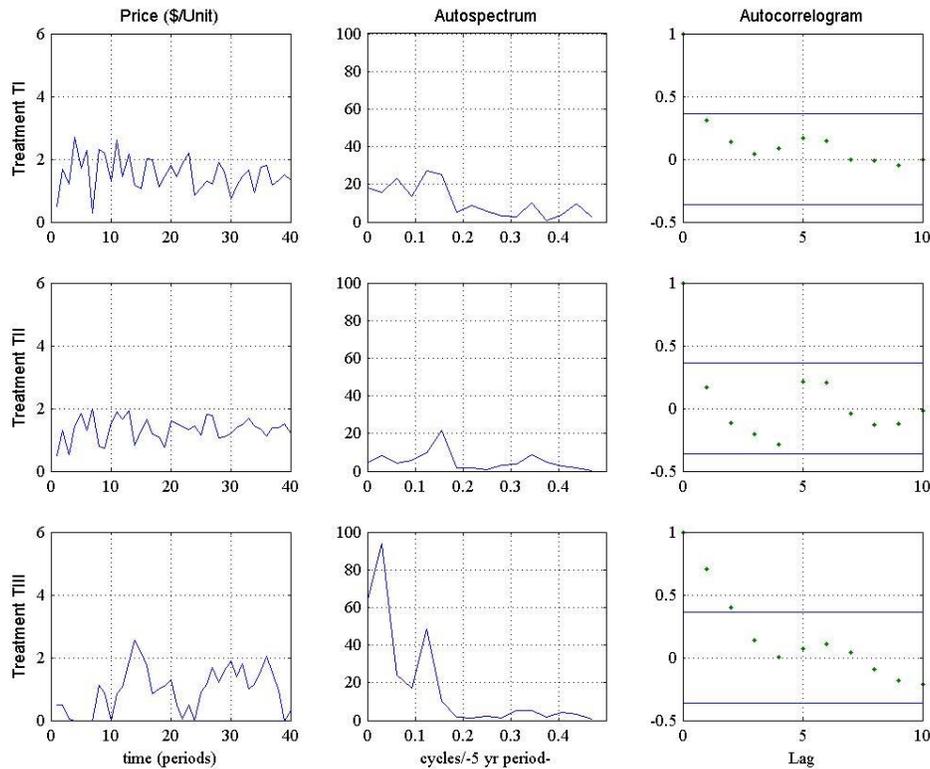


Figure 3. Typical behavior of the price, autospectrum⁷

Previously, we described several indicators that help to identify cyclical tendencies or instabilities: standard deviation, autospectrum, and autocorrelogram. Consistent with the recommendations of those methodologies, we observe that treatments TI and TII face more random fluctuations around the equilibrium level than cyclical tendencies. Contrary, treatment TIII present an autocorrelated process with fluctuations concentrated at low frequency (long periods). Such results are strengthened by simulation of the markets. In fact, simulation analysis of the proposed heuristic shows that it rapidly stabilizes markets in treatments TI and TII; in concordance with the stability properties of such heuristics argued by Heiner (1983 and 1989). However cyclical behavior occurs simulating the treatment TIII, when people ignore the supply line. Following, we present the formal tests for the hypothesis defined before.

⁷ We have made the autospectrum with 32 data, since the Fourier transform works better with length series of power of two (Bendat and Piersol, 1980). The analysis must be careful since the time series is *very* small.

4 TESTING THE HYPOTHESIS

Following, we perform the formal tests for the hypothesis presented in section 2.

Hypothesis 1: Average prices are equal across treatments and equal to Cournot Nash equilibrium predictions.

Table 3 presents the confidence interval for the average prices. It presents the confidence for every group and every treatment, taken the total time series and also divided into two periods as described before. The table shows that it is not possible to reject the null hypothesis. The total average prices for treatment TII and TIII is equal to the CN equilibrium. However, in treatment T1, the null hypothesis is rejected for the total average prices; there is a bias towards competition. At individual market level in treatment TI, the CN equilibrium falls within the confidence interval of total average price for one group. For the first period, the CN falls into the confidence interval for two markets and the same for the second period. For treatment TII, we observe two markets where the CN equilibrium level falls into the confidence interval of the average; two markets with Competitive price and one with both equilibriums. The situation is similar from the first to the second period. Finally, for treatment TIII, the CN equilibrium falls into the confidence interval of two markets, the Competitive equilibrium falls into the confidence interval for two markets, and there is one market that presents bias towards Join maximization.

Table 3. Confidence interval for average prices \bar{X}

Limits	Total			First 20 periods			Remaining periods		
	Inf	\bar{X}	Sup	Inf	\bar{X}	Sup	Inf	\bar{X}	Sup
Treatment TI									
G1	1.53	1.78	2.03	1.54	1.88	2.23	1.50	1.70	1.90
G2	1.39	1.52	1.66	1.46	1.63	1.80	1.36	1.41	1.46
G3	1.25	1.44	1.64	1.26	1.54	1.83	1.09	1.37	1.65
G4	1.41	1.58	1.76	1.25	1.51	1.78	1.48	1.71	1.93
G5	1.33	1.51	1.69	1.34	1.65	1.96	1.24	1.42	1.59
Avg TI	1.41	1.57	1.73	1.46	1.64	1.83	1.31	1.52	1.73
Treatment TII									
G1	0.64	0.84	1.03	0.49	0.75	1.00	0.63	0.94	1.25
G2	1.09	1.21	1.33	1.09	1.29	1.49	1.04	1.17	1.29
G3	1.20	1.32	1.45	1.07	1.29	1.52	1.29	1.39	1.49
G4	1.84	2.02	2.20	1.71	2.01	2.32	1.96	2.10	2.25
G5	0.64	0.84	1.03	0.49	0.75	1.00	0.63	0.94	1.25
Avg TII	0.82	1.36	1.89	0.79	1.35	1.91	0.87	1.41	1.95
Treatment TIII									
G1	1.10	1.38	1.65	0.48	0.84	1.21	1.72	1.95	2.19
G2	0.73	0.96	1.19	0.52	0.88	1.24	0.76	1.06	1.37
G3	1.33	1.57	1.80	0.89	1.31	1.73	1.75	1.87	2.00
G4	0.75	0.93	1.12	0.35	0.55	0.75	1.13	1.34	1.55
G5	2.04	2.26	2.48	1.96	2.35	2.74	2.08	2.26	2.44
Avg TIII	0.74	1.42	2.10	0.31	1.19	2.06	1.09	1.70	2.30

The general bias towards competition observed in treatment TI is consistent with previous results (see summary in Huck, 2004; and Huck et al., 2004), where realized prices tend to be between both competitive equilibrium and CN equilibrium predictions. However, the convergence towards a particular equilibrium is ambiguous for treatments TII and TIII, where the prices reach diverse equilibrium levels.

Hypothesis 2. Standard deviations of prices are equal across treatments are equal

Results from the test for the hypothesis 2 are presented in Table 4. Results show that it is not possible to reject the null hypothesis that standard deviation of price for treatment TI is equal to standard

deviation for treatment TII. However, the tests show that there are differences between the standard deviation of price in treatments TI and TII compared with treatment TIII.

For treatment TI, the equilibrium is observed with random fluctuation, as presented in previous experiments (Huck, 2004). If we consider that the “normal” expected fluctuations for this experimental market is the variance observed in treatment TI, there is a need to explain the extra variance observed in treatment TIII. In our case, it is due to the difference in the supply productions.

Table 4. Test of the difference between means of the average of price standard deviation

	$A=X_{S(\text{price})}$	S_A	H_0	$T_{0,05}$	t_{critic}
TI	0,543	0,110	$A_{TI} = A_{TII}$	1,075	2,306
TII	0,471	0,103	$A_{TI} = A_{TIII}$	2,570	2,306
TII	0,713	0,098	$A_{TII} = A_{TIII}$	3,804	2,306

$X_{S(\text{price})}$: Mean (X) of the Standard deviation (S) of prices.

H_0 : Null hypothesis

$T_{0,05}$: Statistic t with 5% level of confidence

Hypothesis 3: *the behavior of the markets can be explained according to the proposed heuristic in eq. (5), based on the bounded rational theory.*

Simulations of the proposed heuristics and previous related experiments indicated the potential for emerging cyclical behaviour in treatment TIII. In an attempt to provide explanation for behaviour, the tests performed for the heuristics stated in eq. (5) fail to be significant. The failure of the explanation for investment is not surprising in the light of previous Cournot games, similar for treatment TI. In a similar setting as treatment TI, but with asymmetric costs, Rassenti et al (2000) fail to explain behaviour testing different models such as best responds dynamics, partial adjustment towards best responds dynamics, and fictitious play. Huck et al (2002) also observed that those models were not capable of explaining the individual behaviour. Moreover, Kampmann (1992) proposed and heuristic explain individual behaviour for a similar case with treatment TI, which also turned out to be not significant.

5 FINAL DISCUSSION

This paper reports on a series of Cournot markets with groups of five seller subjects. Complexity is increased in the supply side. The subjects decide production and the market price is determined according to a static demand curve. Step by step, we add complexity (and realism) to the simple commodity market model and test the effects on behavior in an accompanying laboratory experiment.

Consistent with previous experiments and the rational expectations hypothesis, the averaged prices in treatment TI are closed towards Cournot Nash equilibrium with biases towards competitive prices, consistent with the. When complexity is increased, we observed how subjects do not have rational expectations any longer and the equilibrium conditions predicted by neoclassical economic theory did not materialize. The complexity implemented in the last treatment (TIII) trigger lead a salient cyclical tendency. Indications of cyclical behavior were observed through the application of spectral analysis and autocorrelation. We found that the more problematic effect of complexity in market behavior is the extra delay rather (treatment TIII) than accumulations (treatment TII).

To explain the behavior, we proposed that people uses a simple heuristic based on the bounded rationality theory. Simulations of the heuristic lead to fast convergence for treatment TI and TII (simple cases), but the same heuristic lead to cyclical behavior in the complex case. In an attempt to provide explanation for behaviour, the tests performed for the heuristics fail to be significant. Different suggestions have been formulated to explain behaviour (Rassenti et al., 2004), but it is still an open question. The treatment TI represents the traditional Cobweb model that represents the more special case of agricultural products that are planted in one season and harvested the next. In treatment TII

four vintages of the production is introduced and TIII adds one extra investment lag. Since random stability was observed in treatment TI and TII, the explanation for the salient oscillation is on the extra delay and the consequent supply line for production capacity.

Understanding commodity cycles have high relevance with respect to practical policy. We increased complexity in order to add realism to the experiment and understand the source for fluctuations in commodity prices. It is important to remark that the salient behavior did not arise for external shocks or noise, but because of the internal market structure. We provide here observation of commodity cycles as a function of the internal structure of the market, in contrast with the traditional explanations for commodity based on externalities.

Further research could include the analysis of the effect of more realistic demand (other price institutions, or constant elasticity demand), the effect of capacity utilization, and, the more important, the effect of different stabilizing policies.

6 REFERENCES

Akiyama, T., (2001). Commodity market reforms: lessons of two decades. *World Bank regional and Sectoral Studies*, Washington, D.C.

Barlas, Y., and Özevin M. G., (2004). Analysis of stock management gaming experiments and alternative ordering formulations. *Systems Research and Behavioral Science*, 21(4): 439-470.

Bendat, J. S., and Piersol, A. G., (1980). Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. New York : Wiley, 2/e, 458 p.

Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., (1994). Time Series Analysis: Forecasting and Control. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 3/e, 598 p.

Carlson, J. (1967). The Stability of an Experimental Market with a Supply-Response Lag. *Southern Economic Journal*, 23(3): 305-21.

Case, K. E., and Fair, R. C., 1996. Principles of Economics, London : Prentice Hall Business Publishing, 6/e, 1014 p.

Cashin P., C. McDermott, J., and Scott, A (2002). Booms and Slumps in World Commodity Prices. *Journal of Development Economics*, 69: 277– 296.

Cashin, P., and Patillo, C., (2000). Terms of Trade Shocks in Africa: Are They Short-Lived or Long Live? Working Paper 00/72, Washington: International Monetary Fund.

Colinsk (1996a). Why Bounded Rationality? *Journal of Economic Literature*, 34(2): 669-700.

Colinsk (1996b). Bounded rationality and market fluctuations. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 29: 233-250.

Cuddington, J. T., and Urzua, C. M., (1989). Trends and Cycles in the Net Barter Terms of Trade: A New Approach. *The Economic Journal*, 99(396): 426-442.

Deaton, A., (1999). Commodity Prices and Growth in Africa. *The Journal of Economic Perspectives*, 13(3): 23-40.

Deaton, A., and Laroque, G., (1992). On the behavior of commodity prices. *Review of Economic Studies*, 59: 1 – 24.

- Deaton, A., and Laroque, G., (1996). Competitive storage and commodity price dynamics. *Journal of Political Economy*, 104: 896–923.
- Deaton, A., and Laroque, G., (2003). A model of commodity prices after Sir Arthur Lewis. *Journal of Development Economics*, 71: 289– 310.
- Diehl, E., and Sterman, J. D. (1995). Effects of Feedback Complexity on Dynamic Decision Making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 62(2): 198-215.
- Frankel, J. A., and Froot, K. A., (1987). Using Survey Data to Test Standard Propositions Regarding Exchange Rate Expectations. *The American Economic Review*, 77(1): 133-153.
- Foss, N., 2003. Bounded rationality in the economics of organization: "Much cited and little used". *Journal of Economic Psychology*, 24(2): 245-264.
- Heiner, R., (1983). The Origin of Predictable Behavior. *American Economic Review*, 73: 560-595.
- Heiner, R., (1989). The Origin of Predictable Dynamic Behavior. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 12: 233-258.
- Herrnstein, R. J., and Prelect, D., (1991). Melioration: A Theory of Distributed Choice. *J. Econ. Perspectives*, 5(3): 137-56.
- Holt, C., and Villamil, A. (1986). A laboratory experiment with a single person Cobweb. *Atlantic Economic Journal*, 14 (2): 51-54.
- Huck, S., (2004). Oligopoly. In: *Economics Lab: An Intensive Course in Experimental Economics*. Eds. D. Friedman and A. Cassar, London/New York: Routledge, 248 p.
- Huck, S., Normann, H.-T., and Oechssler, J., (2002). Stability of the Cournot Process: Experimental Evidence. *International Journal of Game Theory*, 31(1): 123-136.
- Huck, S., Normann, H.-T., and Oechssler, J., (2004). Two are few and four are many: number effects in experimental oligopolies. *Journal of Economic Behavior and Organization*: 53(4): 435-446.
- Lipsey, R. G., and Chrystal, K., (2003). *Principles of economics*. Oxford : Oxford University Press, 10/e.
- Kampmann, C. E. (1992). Feedback complexity, market dynamics, and performance: Some experimental results. Cambridge, MA, PhD thesis, MIT, 478 p.
- Mankiw, N. G., (2004). *Principles of economics*. Mason, Ohio : Thomson/South-Western, 848 p.
- Moxnes, E., 2004. Misperceptions of basic dynamics: the case of renewable resource management. *System Dynamics Review*, 20(2): 139-162.
- Muth, J., (1961). Rational Expectations and the Theory of Price Movements. *Econometrica*, 29(3): 315-335.
- Paich, M., and Sterman, J., (1995). Boom, Bust; and Failures to Learn in Experimental Markets. *Management Science*, 39(12): 1439-58.
- Plott, C. R. (1982). Industrial Organization Theory and Experimental Economics. *Journal of Economic Literature*, 20: 1485-1527.

- Rassenti, S., Reynolds, S. S., Smith, V. L., and Szidarovszky, F., (2000). Adaptation and Convergence of Behavior in Repeated Experimental Cournot Games. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 41(2): 117-146.
- Samuelson, P. A., and Nordhaus, W. D., (2001). Economics. McGraw-Hill: 17/e.
- Sloman, J., (2002). Economics. FT Prentice Hall: Harlow, 5th edition, 762 p.
- Smith, V. L. (1982). Microeconomics Systems as an Experimental Science. *American Economic Review*, 72: 923-55.
- Sonnemans, J., Hommes, C., Tuinstra, J., and Velden, H., 2004. The Instability of a Heterogeneous Cobweb Economy: A Strategy Experiment on Expectation formation. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 54 (4): 453-481.
- Sterman, J., (1987a). Testing Behavioral Simulation Models by Direct Experiment. *Management Science*, 33(12), 1572-1592.
- Sterman, J., (1987b). Expectation Formation in Behavioral Simulation Models. *Behavioral Science*, 32, 190-211.
- Sterman, J., (1989). Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science*, 35(3): 321-339.
- Sutan, A., and Willinger, M. (2004). "Coordination in Cobweb experiments with(out) elicited beliefs". Working paper, JEL Classification: C72, C92, D84, 33 p.
- Tversky, A. and Kahneman, D., (1987). Rational choice and the framing of decisions. In: Hogarth, R.M. and Reder, M., Editors, 1987. Rational choice: The contrast between economics and psychology, University of Chicago Press, Chicago.

Appendix 1. Estimative of the equilibrium points in the market

Following is the notation for the market equilibrium points. Some variables are time dependent, which will be notified if needed.

P: market price
 C: marginal cost
 c: total cost
 S: total supply
 q_i : production of the player i
 A, B: parameters of the demand curve.
 π : profits

Competitive equilibrium

The competitive equilibrium price is the price that equates the quantity demanded and the quantity supplied, with neither surplus nor shortage. The competitive equilibrium is reached when the marginal cost equals the price. The competitive price equilibrium is:

$$P = C = 1 \text{ \$/Unid.}$$

The total supply is the sum of individual production ($S_t = \sum q_i, i = 1, 2, \dots, 5$), and there is symmetry across players in the market. Therefore, the total production of competitive equilibrium is distributed symmetrically among players ($S = 5q_i$), given by:

$$S = \frac{A - P}{B} \quad \therefore \quad q_i = \frac{S}{5} \quad \therefore \quad q_i = \frac{A - P}{5 \cdot B} \quad \therefore \quad q_i = 10 \text{ Unid.}$$

Cournot Nash Equilibrium

According to the Cournot Nash model, an oligopolistic market is in equilibrium if each firm produces the same expected production of the other, under conditions of profits maximization. The profit function for each firm is:

$$\pi_i = (P - C) \cdot q_i \quad \text{and} \quad P = A - B \cdot S$$

$$\pi_i = (A - B \cdot S - C) \cdot q_i$$

Every player assumes that the rest of players will produce the same as her/him. The quantity is the result of profit maximization assuming that the other's production q_j for $j \neq i$, is constant, and in the equilibrium the quantity is time independent. The following expression provides the first-order condition for the production q_i (Martin, 2002):

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = P + q_i \cdot \frac{dP}{dS} - \frac{d c(q_i)}{dq_i} \equiv 0$$

Given that $c(q_i) = C q_i$, $S = 5q_i$, the first order conditions becomes:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = A - 5 \cdot B \cdot q_i + q_i \cdot (-B) - C \equiv 0$$

$$q_i = \frac{A - C}{6 \cdot B} \quad \therefore \quad q_i = 8,33 \text{ Unid.}; \quad \text{and} \quad P = 1,83 \text{ \$/Unid.}$$

Join maximization

The “join maximization” equilibrium is estimated by assuming that each firm (subject) seeks to maximize the total industry profits and divided the joint profits equally. Since all firms are symmetric, it is equivalent to the monopoly equilibrium. Thus, the industry maximizes its total profits with respect to the overall production and divides the profits among firms. The profit function for the total industry is given by:

$$\pi = (P - C) \cdot S$$

$$\pi = (A - B \cdot S - C) \cdot S$$

The first-order condition for the production S is:

$$\frac{d\pi}{dS} = (A - B \cdot S - C) + S \cdot (-B) \equiv 0$$

$$S = \frac{A - C}{2B} = 25 \text{ Unid.} \quad \therefore q_i = 5 \text{ Unid.} \quad \therefore P = 3,5 \text{ \$/Unid.}$$

Appendix 2. Instruction and user interface for treatment TIII (The software and the rest of the material is available upon request to the author).

INSTRUCCIONES

PRECAUCIÓN: NO TOQUE EL COMPUTADOR HASTA LA INDICACIÓN PARA HACERLO

Este es un experimento en la economía de toma de decisiones. Varias instituciones han soportado financieramente para realizar el experimento. Las instrucciones son simples, si usted las sigue cuidadosamente y toma buenas decisiones podrá ganar una considerable cantidad de dinero en efectivo después del experimento. En el experimento usted va a jugar el rol de un productor en un mercado. Cada período usted decidirá la producción futura. Su objetivo es maximizar las ganancias en todos los períodos del experimento. A mayores ganancias, mayor será el pago que usted recibirá.

Usted es uno entre 5 productores en un mercado. Usted no sabe quienes son los otros jugadores en su mercado ni su desempeño. Sus ganancias dependen de la producción y del precio de la electricidad menos el costo de producción. Su producción debe ser positiva y menor que 20 unidades, el cuál es un límite superior para asegurar un mínimo de competencia en el mercado. El costo unitario es 1 \$/Unid. para todos los productores. El costo incluye los operacionales y los costos de capital, y también el retorno normal al capital. Estoy, si usted vende su producto a 1 \$/Unid. significa que usted está haciendo las ganancias normales en la economía.

El precio de la electricidad está dado para equilibrar la oferta y la demanda. La oferta es la suma de la producción de los 5 jugadores. La demanda es sensitiva al precio y esta dada por la siguiente relación:

$$P = 6 - B \cdot Q \text{ (ver Figura 1)}$$

Con $A = 6, B = 0,1$ y $Q =$ Suma de la producción de los 5 productores.

En resumen, a mayor producción total, menor será el precio. Respectivamente, a menor producción total, mayor será el precio. No hay crecimiento económico, lo que significa que la demanda sólo cambia por cambios en el precio. En el inicio del experimento, la producción total 55 unid., el precio es $-0,5$ \$/Unid. y su producción es 11 Unid.

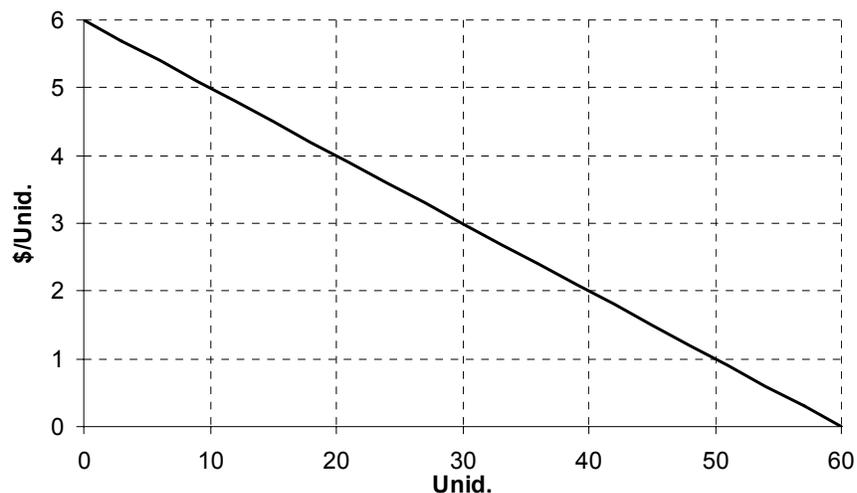


Figura 1. Curva de demanda

Usted decide cada período la producción para el próximo período. Usted decide cada período su producción adicional para el futuro. Antes de tomar decisiones, usted obtiene información acerca del precio del producto y de las ganancias del período actual. Cuando el próximo período comienza, usted tendrá la producción que usted ha decidido los últimos 4 períodos. Cada período usted decide la adición de producción futura. Estas adiciones permanecerán por 4 períodos. La producción adicional está disponible hasta el período después del siguiente. La Figura 2 muestra la figura que se presenta en el software del experimento. Esta muestra las decisiones que usted ha tomado los 4 anteriores períodos y la decisión que usted posiblemente tomará en el período actual. Cuando usted haya decidido la producción para período después del siguiente período, su decisión no puede ser cambiada cuando usted está en dicho período. En el primer período usted verá las decisiones iniciales hechas antes de usted tomar la compañía. Usted puede hacer clic en la grafica para observar los valores exactos.

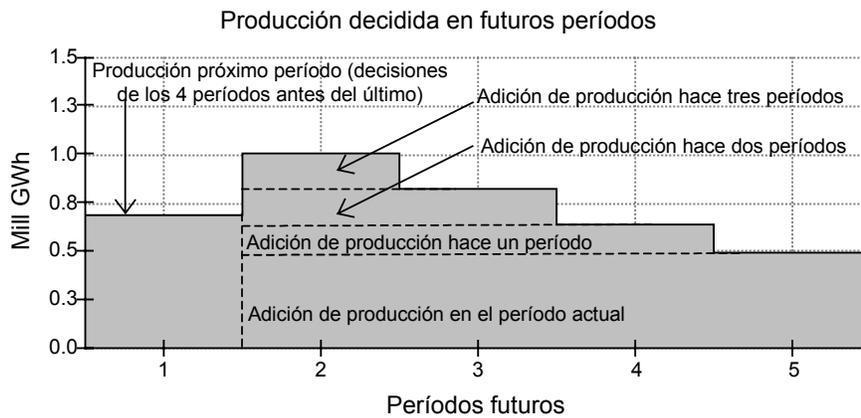


Figura 2. Producción futura decidida.

PAGOS

Usted recibirá un pago según sea su desempeño. Su desempeño es medido por la acumulación de excedentes de ganancias. Si usted obtiene cero excedente de ganancias, su pago será de \$17 000. Si usted acumula más ganancias recibirá un pago mayor, y si usted acumula menos obtendrá menos pago. Esto, siempre habrá remuneración para hacer lo mejor.

En cada período, también se le solicita hacer el pronóstico del precio para el período después del próximo período. Usted ganará pago extra dependiendo de la precisión del pronóstico que haga. Si usted hace un pronóstico perfecto en todos los períodos del experimento, usted obtendrá \$8000.

CALCULADORA DE GANANCIAS

La calculadora de ganancias es una ayuda, donde usted asume una decisión de producción propia y otra para el resto de las firmas. Note que la usted ya tiene una producción acumulada de otros períodos, por lo tanto usted debe hacer una adición a dicha producción acumulada (no se permite reducción). la cual se muestra en la misma calculadora. Se calcula el precio y las ganancias para estas decisiones.

EJECUTANDO EL EXPERIMENTO

Todos los jugadores entran la decisión de producción y el precio pronosticado en el computador, escriben en la hoja de papel correspondiente, y presionan "Accept Decisions". Cuando todos han tomado sus decisiones, la ventana "Accept Decisions" aparece de nuevo, el juego ha avanzado un período. El tiempo avanza, y los jugadores obtienen los resultados del próximo período. Este es el momento de tomar decisiones de nuevo y así sucesivamente.

Después de 40 períodos, el juego termina. Usted escribe su pago en la hoja de papel y se aproxima al líder del experimento para obtener su pago.

TENGA CUIDADO DE NO PRESIONAR “Accept Decisions” A NO SER DE ESTAR SEGURO DE HACER ESTO. Una vez presione “Accept Decisions” su decisión no puede ser cambiada.

NOTA:

De acuerdo con el propósito de los experimentos, se requiere que no compartir ninguna clase de información entre los jugadores (verbal, escrita, gestual, etc.). Por favor, respete estas reglas porque son importantes para el valor científico de los experimento.

Gracias por participar del experimento y mucha suerte!!!

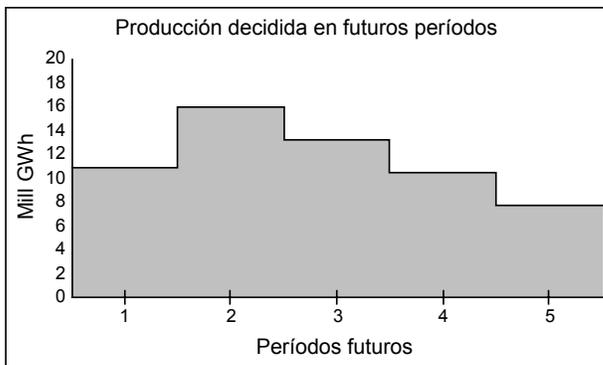
USER INTERFACE

Información	
Producción de la firma (Unid.)	11.00
Producción del resto (Unid.)	44.00
Producción total (Unid.)	55.00
Precio (\$/Unid.)	0.50
Costo Unitario (\$/Unid.)	1.00
Margen de ganancia (\$/Unid.)	-0.50
Ganancia del período (\$)	-5.50

Decisiones	
Producción adicional (Unidades) (para los próximos 4 periodos después del próximo)	5.00
Pronóstico de precio (\$/Unidad) (dentro de 2 periodos)	0.00

Pago	
Disponible al final del juego	
Pago por Desempeño (\$)	0
Pago por Pronóstico (\$)	0
Pago total (\$)	0

Período



Calculadora de Ganacias

Q Resto

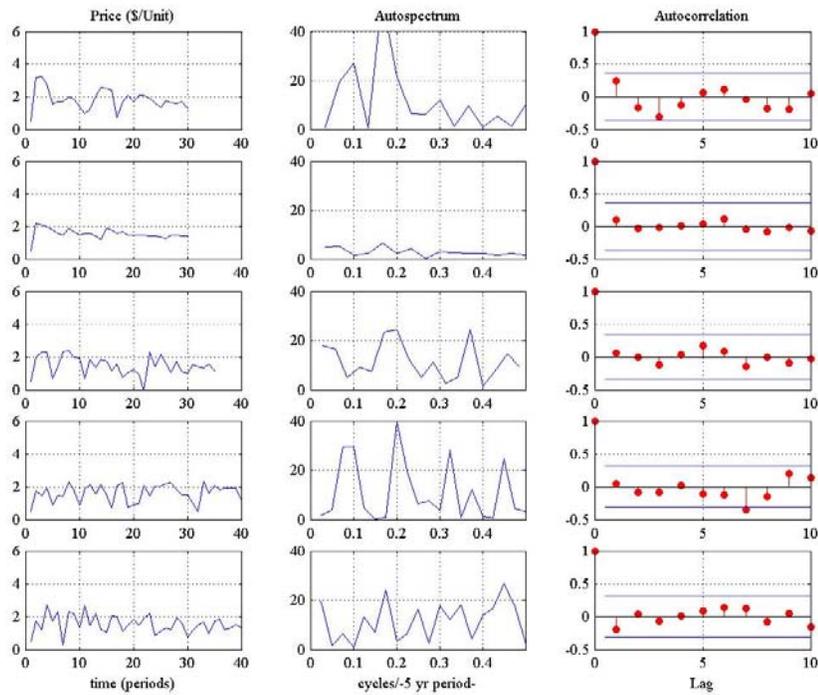
q Propia

Producción Acumulada

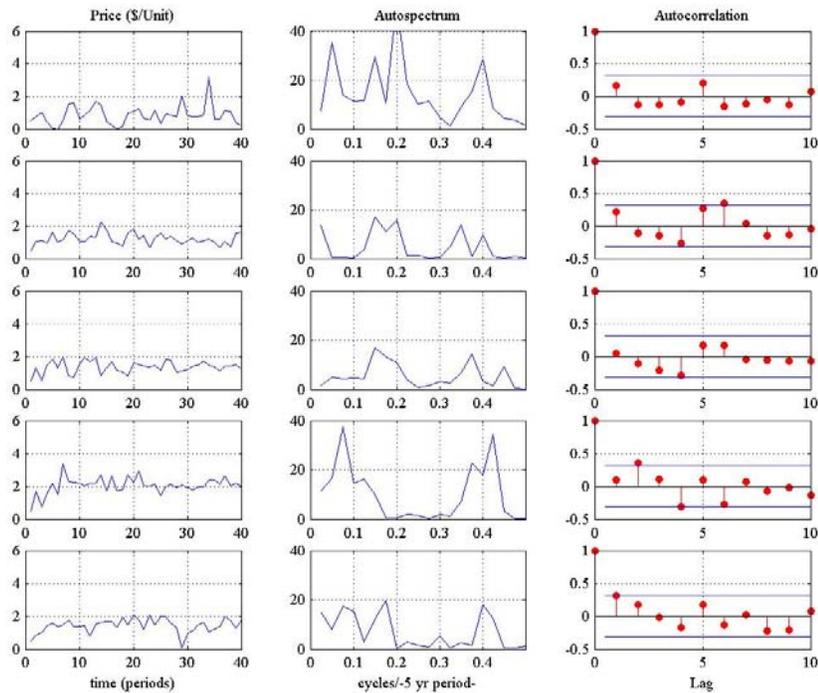
Precio

Ganancia

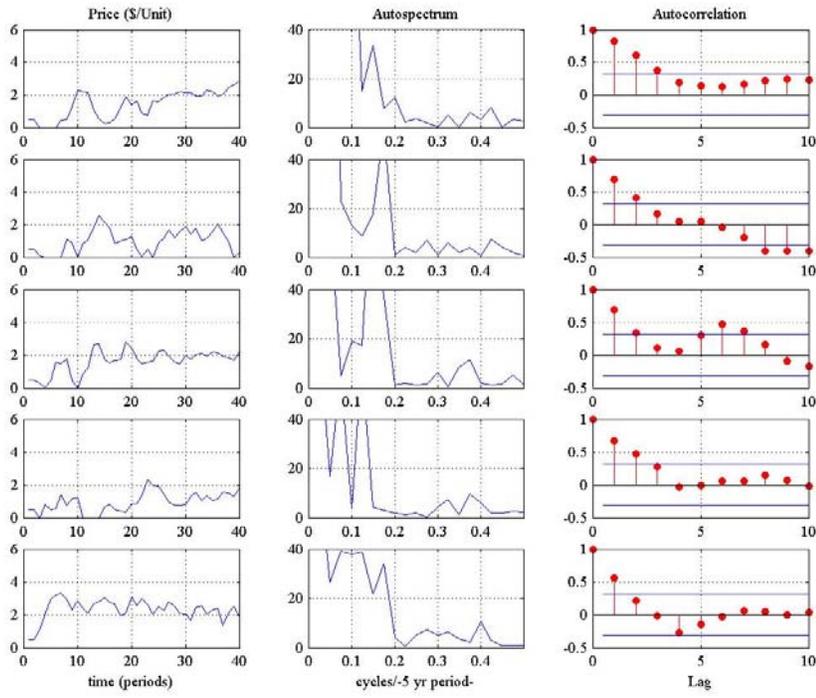
Appendix 3. Price series, Autospectrum, and Autocorrelogram



(TI)



(TII)



(III)

Software para el Modelado de Estrategias Organizacionales por No Expertos en Dinámica de Sistemas

Sotaquirá G., Ricardo, Ariza Z., Gerly Carolina.
{rsotaqui,gariza}@unab.edu.co
Universidad Autónoma de Bucaramanga
Colombia

Resumen— Se presenta en este artículo una nueva herramienta software que busca poner al servicio de personas no expertas en Dinámica de Sistemas las potencialidades de este enfoque para el diseño de estrategias empresariales. Esta herramienta se soporta en un conjunto de componentes o estructuras genéricas reutilizables de manera versátil. El tipo de reutilización soportado por la herramienta, y que permite este nuevo nivel de versatilidad en el modelado, se basa en el concepto de relaciones de herencia entre estructuras o submodelos en Dinámica de Sistemas. Además de reseñar la funcionalidad del software propuesto, se realiza una comparación somera con otras herramientas disponibles actualmente para el modelado dinámico-sistémico de estrategias empresariales.

Índice de Términos—Reutilización de Modelos, Estrategias Organizacionales, Orientación a Objetos, Difusión de la Dinámica de Sistemas.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los campos de aplicación en donde se pueden hallar un mayor número de experiencias, usualmente exitosas, de aprovechamiento de las potencialidades de la Dinámica de Sistemas, como forma de expresión y estudio de la complejidad causal realimentada y de sus comportamientos derivados, ha sido el del modelado de estrategias organizacionales o empresariales. Allí, los modelos dinámico-sistémicos ponen de manifiesto su capacidad para servir como herramientas en la prospectiva (estratégica) así como en el aprendizaje

organizacional. Sin embargo, a pesar de estas virtudes, no puede afirmarse que la Dinámica de

Sistemas en general sea reconocida y utilizada frecuentemente para este tipo de necesidades. En nuestro medio, el del ámbito empresarial e institucional en países latinoamericanos, es todavía más excepcional encontrar casos de uso de la Dinámica de Sistemas para asistir procesos de planeación estratégica.

En países como el Reino Unido, con una comunidad de practicantes de la Dinámica de Sistemas bien establecida, con empresas con recursos suficientes para invertir en tareas de planeación y con una mayor tradición y conciencia sobre la necesidad de planificar cuidadosamente las estrategias de sus organizaciones, puede apreciarse también que la Dinámica de Sistemas tiene una utilización limitada. Como respuesta a esta situación, en la década pasada han aparecido propuestas de la comunidad inglesa de dinámico-sistemistas para acercar a un mayor número de usuarios empresariales a la planeación estratégica con Dinámica de Sistemas. Pueden destacarse por ejemplo, los trabajos del grupo de la London Business School de desarrollo de micromundos y de juegos de simulación relacionados con estrategia empresarial[1]; la construcción y difusión de una herramienta que aproxima la Dinámica de Sistemas al lenguaje de la planeación estratégica, nos referimos a Strategy Dynamics y al software MyStrategy[2],[3]; y los experimentos con modelos parametrizables por los usuarios[4], entre otros.

Los autores agradecen a las entidades que financian esta investigación: Colciencias, Universidad Autónoma de Bucaramanga y Pensemos Ltda.. Igualmente expresan su gratitud al equipo de desarrollo de software de Pensemos Ltda. por su vital participación en este proyecto.

Dado que, a nivel del subcontinente latinoamericano, se revela un uso aún más reducido de la Dinámica de Sistemas en situaciones de planeación estratégica, resulta razonable pensar que alternativas como las mencionadas, u otras con intenciones similares, serían útiles para incrementar el número de casos de uso en empresas y organizaciones de la región y, de este modo, para transferirles los beneficios en prospectiva y en aprendizaje que supone el uso de la Dinámica de Sistemas. Con este fin se ha venido adelantando, en Colombia, un proyecto de investigación conjunto entre el grupo de investigación en pensamiento sistémico, de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, y la empresa de desarrollo de software Pensemos Ltda., con el apoyo financiero adicional de Colciencias [5].

El resultado tecnológico de este proyecto de investigación consiste en una herramienta software, a nivel de un primer prototipo, que facilita la construcción de modelos dinámico-sistémicos para la planeación estratégica, y que se distingue principalmente porque sus usuarios no tienen que estar necesariamente familiarizados con el lenguaje de la Dinámica de Sistemas. Este artículo reseña las principales características de esta herramienta software y las compara con otras alternativas disponibles en la actualidad.

II. LA NECESIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE MODELOS

Para realizar el propósito anunciado, de facilidad de uso para personas no expertas en Dinámica de Sistemas, se debió fundamentar el diseño de la herramienta software en los resultados de una primera fase de la investigación[6]. En esta primera fase se examinó el estado del arte en cuanto a las herramientas software, existentes o propuestas, que son utilizadas hoy en día por quienes acuden a la Dinámica de Sistemas para fundamentar el análisis de estrategias organizacionales. La pregunta que impulsó esta revisión del estado del arte puede ser formulada de la siguiente manera: ¿Qué innovación conceptual hace posible, en cada herramienta, que

el usuario, a pesar de sus limitaciones de experticia, pueda avanzar en el modelado dinámico-sistémico de situaciones organizacionales para examinar estrategias empresariales? Es decir, interesaba poner de manifiesto un cierto hilo conductor que atravesase las diferentes innovaciones propuestas en los últimos años. Por este camino se concluyó que el concepto de reutilización de modelos era clave en todas estas innovaciones. Por ejemplo, el uso de arquetipos para facilitar la conceptualización de la realimentación en problemáticas organizacionales, es un caso ejemplar de reutilización de modelos. Además se estudiaron otros casos similares de reutilización de modelos, tales como la idea de Moléculas de Vensim o los componentes de Powersim 2003.

Esta primera fase arrojó otra conclusión útil para el diseño de esta nueva herramienta software de modelado: El mencionado concepto de reutilización de modelos no ha sido suficientemente explotado y aplicado en el campo de la Dinámica de Sistemas. Esta afirmación puede sustentarse sintéticamente del siguiente modo¹. Los modelos o submodelos que son reutilizados, en cada una de las propuestas previas, tienen una estructura completamente predefinida. Particularmente esto ocurre en propuestas, como moléculas y componentes, que llegan al nivel del modelado matemático (los arquetipos ofrecen una mayor flexibilidad pero se limitan al nivel de la representación más cualitativa). La tarea de modelado se facilita sólo ligeramente para el usuario, él puede basar su modelado en estos componentes fijos. Por otro lado, en verdad, para integrar tales componentes en modelos regularmente comprensivos se requiere la misma experticia en Dinámica de Sistemas que la que supone hacer esta tarea desde cero. De modo que este tipo de reutilización no satisface las necesidades de usuarios no-expertos.

Se concluyó que la innovación que sería implementada en la nueva herramienta software tendría que basarse en una aplicación más completa

¹ En el artículo previamente citado se realiza una exposición más detallada de los argumentos que sustentan esta conclusión (Sotaquirá, Ariza, 2004).

de lo que conceptualmente ofrece la idea de reutilización de modelos. ¿Pero qué significaba una aplicación más completa? Para responder este interrogante acudimos a un campo en donde el concepto de reutilización ha vivido su mayor desarrollo: la Ingeniería de Software orientada a objetos. De este campo se transfirió y se adaptó un concepto para Dinámica de Sistemas: el concepto de herencia. Cabe recalcar que se trata de una adaptación que no necesariamente coincide, y no puede hacerlo, con el significado de la herencia en el mundo de los objetos software, entre otras razones por la diferencia de enfoques de modelado entre uno y otro campo (uno orientado a entidades y el otro a procesos causales cíclicos que entretejen entidades). Las posibilidades que ofrece este concepto de reutilización de modelos a través de herencia sólo se insinúan en lo que se presenta a continuación y esta puede ser una temática prometedora en innovaciones no sólo tecnológicas sino, por lo menos, metodológicas en la Dinámica de Sistemas. Para el asunto que aquí interesa, el punto consiste en que este tipo de reutilización posibilita una versatilidad claramente superior en el uso de componentes por parte de usuarios no-expertos.

III. APLICACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN DE MODELOS EN LA HERRAMIENTA SOFTWARE

Para entender cómo se aplicó el mencionado tipo de reutilización, que incluye el concepto de herencia, en la herramienta software propuesta, es necesario primero aclarar, en términos generales, su arquitectura. La herramienta está organizada en dos capas:

1. Una capa exterior que ofrece una interface gráfica al usuario no-experto. A través de ella el usuario puede construir un modelo basado en componentes predefinidos (estructuras genéricas) que puede ensamblar de manera versátil, de modo que se pueden construir un número indefinido de modelos a partir de los componentes ofrecidos, esto facilita lograr un cierto grado de semejanza entre el modelo y la realidad empresarial que quiere

representar el usuario.

2. Una capa interior que contiene un repositorio de componentes predefinidos así como un motor de simulación. A esta capa tienen acceso solamente los diseñadores del software. Para construir los componentes se requiere por supuesto del dominio de la Dinámica de Sistemas.

El siguiente modelo de Dinámica de Sistemas muestra un caso típico en donde se puede apreciar la utilidad y la versatilidad de componentes que utilicen el concepto de herencia².

Supóngase que uno de los componentes o estructuras genéricas representa de manera simple las variables claves de un inventario de productos o de materias primas sencillos. Como se observa en la figura, esta estructura constaría simplemente de su nivel y sus correspondientes flujos de entrada y despacho de materiales. La información de la entrada de materiales provendrá de otro componente del modelo, mientras que la salida está parametrizada por una tasa de demora promedio para el despacho.

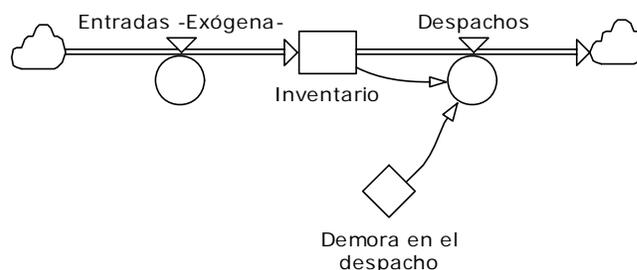


Fig. 1. Componente "Padre"

Denomínese a este componente "padre". A partir de él podría formularse una segunda estructura derivada y ligeramente más compleja que se denominará "hijo". El único cambio entre una y otra es una modificación interna, se trata de una segunda representación del flujo de despacho. En esta ocasión la tasa que gobierna el flujo dependerá del inventario disponible, si hay exceso del mismo se pueden acelerar los despachos, ese exceso estaría

² Los componentes sugeridos en el ejemplo no corresponden con estructuras genéricas presentes en la herramienta software, simplemente sirven para ilustrar la utilidad de la aplicación del concepto de herencia para enfrentar la problemática indicada.

medido por la relación entre el inventario actual, el nivel, y un inventario de referencia. La figura ilustra la modificación realizada.

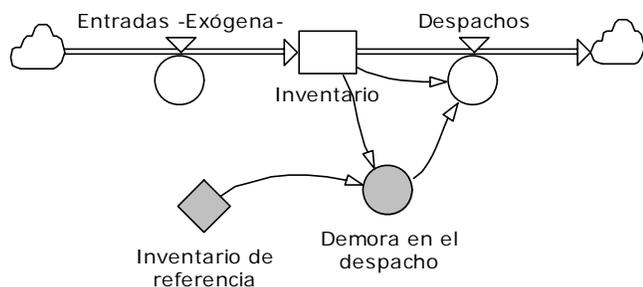


Fig. 2. Componente "HIJO"

En la herramienta software es posible establecer una relación de herencia entre los dos componentes. Esto permite luego al usuario final incluir en su modelo el componente inventario y conectarlo con otros componentes. El usuario podría escoger entre un inventario con demora constante o un inventario con demora dependiente del nivel de inventario, pero no tendría que preocuparse cómo se conectan estos componentes con los otros puesto que desde la concepción de reutilización que aquí se aplica tanto el "padre" como el "hijo" son estructuras análogas y mutuamente sustituibles. Puesto en otras palabras, la "unidad básica" con la que se construye un modelo no es una variable sino una estructura y se pueden tener familias de estructuras análogas relacionadas entre sí por vínculos de herencia. El usuario puede servirse de igual modo de cualquiera de los componentes miembros de una familia o sustituirlo para lograr una mejor representación de su situación a través del modelo. He aquí la versatilidad de componentes intercambiables gracias a la aplicación del concepto de herencia en la reutilización de modelos en Dinámica de Sistemas.

Cabe anotar además que en la herramienta software el usuario no conoce el modelo matemático que está al interior de su estructura, básicamente conoce el tipo de realidad que la estructura genérica representa así como las variables o parámetros de entrada y las variables de salida.

Esto no implica necesariamente que los componentes sean "cajas negras". En este sentido, la herramienta software le permite al usuario conocer los ciclos de realimentación que se derivan de su modelo compuesto con estas estructuras pre-definidas.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL SOFTWARE

Para delinear aquellos rasgos distintivos de la herramienta software, en cuanto a sus prestaciones, a continuación se compara su funcionalidad con otras alternativas disponibles para la construcción de modelos dinámico-sistémicos de apoyo a la planeación estratégica. La herramienta se comparó con otras dos alternativas disponibles. La forma más básica de usar Dinámica de Sistemas en el modelado de estrategias empresariales consistiría en utilizar uno cualquiera de los ambientes generales para construir modelos en Dinámica de Sistemas disponibles hoy en día (Ithink, Vensim, Powersim, Evolución, etc.). Entre ellos, al menos Powersim, en sus versiones más recientes [7], ofrece la posibilidad de crear componentes que puedan ser reutilizados (más precisamente, "duplicados"[6]. De modo que, en la comparación, se examinará esta plataforma. La segunda alternativa, es el software denominado MyStrategy desarrollado por el grupo encabezado por Kim Warren en Inglaterra[2],[3] y que se presenta específicamente como una herramienta que apoya el diseño estratégico organizacional.

El usuario de Powersim se enfrenta necesariamente a una herramienta que demanda conocimientos en modelado matemático con Dinámica de Sistemas. La construcción de componentes en esta herramienta, por supuesto, no esta exenta de este requerimiento. Por otro lado, una herramienta como esta u otras similares permite construir cualquier modelo y de esta manera hace posible lograr resultados que reflejen mejor lo que el usuario entiende sobre su realidad organizacional. Sin embargo, como se indicó al principio del artículo, nos interesa poder ampliar la base de

usuarios que se beneficien del enfoque de la Dinámica de Sistemas, en este caso específico, en el ámbito del diseño estratégico empresarial. En este sentido las potencialidades de Powersim, u otras herramientas generales de modelado, se convierten a la vez en su principal limitación para resolver la problemática.

En el caso de MyStrategy, el usuario dispone de una herramienta de modelado cuyo lenguaje es una adaptación del lenguaje dinámico-sistémico al ámbito organizacional. Los niveles son recursos, por ejemplo. Y la herramienta facilita, al concentrarse en un área particular, ciertos aspectos en la formulación del modelo matemático. No obstante su cercanía al enfoque de modelado basado en variables y con ningún soporte explícito para reutilización obligan al usuario, para poder elaborar modelos verdaderamente pertinentes y razonablemente bien contruidos, a tener buen grado de conocimientos en Dinámica de Sistemas. Con ello MyStrategy tampoco resuelve la problemática de interés.

Ya se indicó que la herramienta software propuesta le presenta al usuario una interfaz gráfica que le permite construir un modelo a partir de componentes predefinidos y que tales componentes se corresponden con elementos/procesos propios de su realidad, por ejemplo, un inventario. En este sentido no se les está pidiendo al usuario conocimientos previos en Dinámica de Sistemas con lo cual se atiende la inquietud que se hizo explícita al inicio de este trabajo. Además es posible tener un modelo de prueba en un tiempo evidentemente más corto al aprovechar la reutilización de modelos. Sin embargo, esto no implica necesariamente que la herramienta no promueve ningún aprendizaje sobre la causalidad cíclica presente en los modelos del usuario como ya también se señaló. Por otro lado la herramienta y el enfoque de modelado que ella soporta suministran un nuevo punto de entrada para usuarios del modelado con Dinámica de Sistemas que puede servir como primer peldaño para la divulgación de este enfoque, al menos, en el campo del diseño

estratégico organizacional.

V. CONCLUSIONES

Como producto de esta comparación puede apreciarse que la herramienta software, en su versión de prototipo inicial, permite construir con mayor facilidad un modelo dinámico-sistémico de apoyo a la planeación estratégica a personas que no necesariamente conocen el lenguaje de la Dinámica de Sistemas. Pero esto no implica forzosamente que el modelo se convierta en una “caja negra” para el usuario, de manera que también la herramienta soporta un cierto grado de aprendizaje durante el proceso de modelado, tanto de los supuestos causales implícitos en el modelo como del propio lenguaje de la Dinámica de Sistemas. La herramienta no sustituiría a las otras alternativas disponibles para modelar estrategias organizacionales con Dinámica de Sistemas, simplemente abre un nuevo espectro de acceso a esta corriente del pensamiento sistémico para un público particularmente necesitado de este tipo de enfoques.

REFERENCIAS

- [1] J. D. W. Morecroft, “Strategy Support Models”, *Strategic Management Journal*, 1984, Vol. 5 (3): pp. 215-229.
- [2] K. Warren, “System Dynamics and Strategic Management”, *Proceedings of the International System Dynamics Conference*, 1997, Estambul.
- [3] K. Warren, “From Business Strategy to Corporate Strategy Dynamics”, *Proceedings of the International System Dynamics Conference*, 1998, Quebec.
- [4] G. W. Winch, “User-parameterised generic models: a solution to the conundrum of modelling access for SMEs?”, *System Dynamics Review*, 2002, 18(3): 339-357.
- [5] R. Sotaquirá, et. al. “Modelado y simulación de estrategias empresariales mediante la reutilización de modelos en dinámica de sistemas”. 2003, Proyecto de investigación Colciencias.
- [6] R. Sotaquirá y G. C. Ariza, “Reutilización de modelos en Dinámica de Sistemas basada en el paradigma de la orientación a objetos”. *Memorias del II Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*. 2004, Universidad de Talca, Chile.

[7] Powersim. “Powersim Studio Express 2003 Online Help”, 2003, Powersim AS.

Autores

Ricardo Sotaquirá Gutiérrez: Docente, Investigador y Director del Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (Colombia). Miembro del Centro de Investigaciones en Sistemología Interpretativa de la Universidad de los Andes (Venezuela). Ingeniero de Sistemas, Magíster en Informática y Candidato a Doctor en Ciencias Aplicadas. Su principal interés en la investigación en los últimos años ha sido el estudio de la situación de injusticia social característica de los países latinoamericanos, desde la perspectiva del pensamiento sistémico.

Gerly Carolina Ariza Zabala: Investigadora en formación del Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (Colombia). Ingeniera de Sistemas y Candidato a Magíster en Ingeniería. Ha trabajado en varios proyectos de investigación en donde se utilizan la Dinámica de Sistemas y los juegos de simulación en situaciones de aprendizaje organizacional y comunitario.

La Industria de autopartes en México: perspectivas a futuro.

Campa, Ana Isabel., Decanini, Claudia., Altamar B, Johanna., García, Leyci Uc , Pérez Salazar, Gloria
{A00792265, A00588607, A00792552, A00792528, gloria.perez}@itesm.mx
ITESM Campus Monterrey

Resumen— La industria automotriz es una de las más importantes de México. En la actualidad, en términos de su relevancia dentro de la industria manufacturera, las autopartes constituyen el segundo producto de mayor exportación del sector, solamente después de los vehículos. Durante los años noventa la participación en el PIB y el volumen de ventas en sector de autopartes ha demostrado una tendencia de aumento con un ápice en el 2000. Desde el 2001 a la fecha se ha presentado un decremento paulatino en estos indicadores. La industria de autopartes debe convertirse en una plataforma del mayor valor agregado, que integre tecnología y mayor valor a los componentes de equipo original y las partes de repuesto. Una tecnología que se puede utilizar para construir esta plataforma es la tecnología de sistemas micro-electromecánicos (*MEMS* por sus siglas en inglés). El documento demuestra diversos panoramas desarrollados bajo el área de estudio de la Dinámica de Sistemas, que demuestran que podría suceder en esta industria en los 10 próximos años apoyados por *MEMS*.

Índice de Términos— Autopartes, Estrategias Modelación, Tecnología.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los años noventa la participación en el PIB y los volúmenes de ventas del sector de autopartes siguieron una tendencia de aumento con un ápice en el 2000. Sin embargo, del 2001 a la fecha se ha presentado un decremento paulatino del 3.43% en estos indicadores (ver figura 1), nuevos actores que han emergido en el mercado mundial aumentaron su participación siguiendo estrategias que no han sido tomadas en cuenta hasta el momento por el sector de autopartes nacional. La tendencia a la baja lleva a plantear la imperante necesidad de acoger estrategias que encaucen nuevamente a la industria de autopartes de México a desempeñarse competitivamente y a cambiar el actual giro de sus

métricas de desempeño, para poder así posicionarse como un jugador de clase mundial.

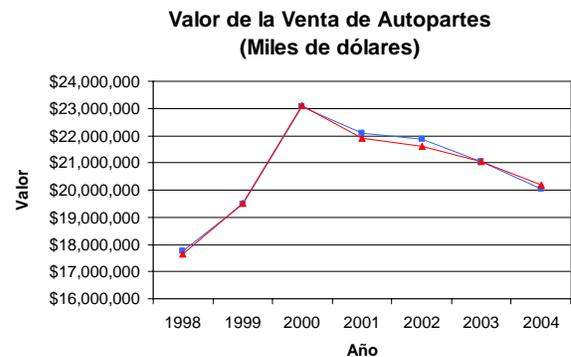


Fig. 1.- Valor de las Ventas de Autopartes
Fuente: División de Investigación de la Facultad de Contaduría y Administración, UNAM (2002).

II. OBJETIVOS

De acuerdo a la investigación desarrollada de la Industria de Autopartes en México, se establece que el volumen de ventas de la industria de autopartes nacional ha disminuido en un 3.43% los últimos cuatro años. Dado lo anterior, se ha planteado la siguiente hipótesis a probar; la Industria de autopartes de México es capaz de aumentar sus ventas en un 40% en un tiempo de 10 años apoyada por el impulso tecnológico de los sistemas micro-electromecánicos (micro-electromechanical system MEMS). Los MEMS se constituyen mediante la integración de elementos mecánicos, sensores, actuadores, y elementos electrónico-mecánicos en un sustrato común de silicio a través de tecnología de microfabricación. Los componentes electrónicos son fabricados usando circuitos integrados y procesos secuenciales, los componentes micro mecánicos son fabricados usando procesos compatibles llamados "micromachining", estos procesos agregan nuevas capas estructurales para formar los dispositivos mecánicos y electromecánicos. MEMS es una tecnología que permite el desarrollo de elegantes productos,

nuevos diseños y aplicaciones con el uso de la microelectro-mecánica [7]. De la hipótesis antes planteada, se derivan los siguientes cuestionamientos:

¿Crecerán las ventas de la Industria de Autopartes en el mercado de exportación apoyado en el Desarrollo Tecnológico?

¿Cuál es el impacto del impulso a la investigación y el desarrollo de dispositivos con tecnología de sistemas MEMS en el desarrollo de la industria de autopartes de México?

¿Cuál es el impacto del desarrollo de productos con tecnología de sistemas MEMS en la competitividad de la industria nacional?

III. SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA DE AUTOPARTES

Una empresa de clase mundial es aquella que tiene elevados niveles de productividad, certificaciones internacionales de calidad, producción con cero defectos que se traduce en escasos reclamos de los clientes, elevados porcentajes de automatización en la producción, alta utilización de la capacidad instalada, sistemas de entrega justo a tiempo, capacidad para abastecer una elevada variedad de productos, reducidos inventarios y organización laboral en grupos o células [1].

La industria automotriz es una de las más importantes en el país. A diferencia de otros sectores, el automotriz ha sido un claro ganador de la entrada de México al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) [4].

Podemos constatar lo anterior por la fuerte participación desde 1993 en algunos indicadores nacionales como lo son: aportación del PIB (ver figura 2), Producción Total, Valor de las ventas, balanza comercial, inversión extranjera y empleo.

La industria automotriz se integra por el sector terminal y el sector autopartes. *El sector terminal* (armadoras) son las empresas establecidas en México que fabrican y/o ensamblan automóviles, camiones, tractocamiones y autobuses integrales, por mencionar algunas encontramos Chrysler, Ford, General Motors, Nissan y Volkswagen. *El sector de*

Participación del PIB de Autopartes respecto al PIB Manufacturero

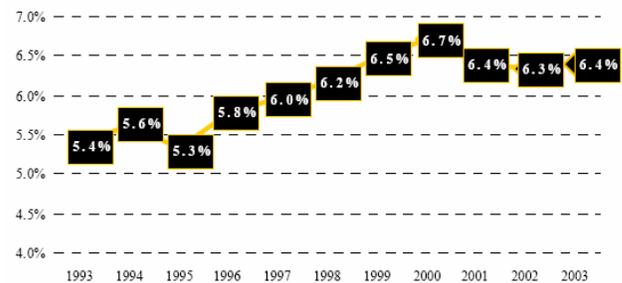


Fig. 2. Participación del PIB de Autopartes respecto al PIB Manufacturero. Fuente: INEGI.

autopartes son las firmas que fabrican partes y componentes para los mercados de equipo original (plantas armadoras) y refacciones para el mercado de reposición [4].

La cadena productiva de la industria de autopartes está constituida por tres niveles. Los proveedores de *primer nivel* tienen la capacidad de abastecer directamente la demanda de las plantas armadoras y poseer las atribuciones de las empresas de clase mundial. Éste, el primer eslabón de la cadena productiva, requiere para cumplir con las demandas de sus clientes de otros productos. Por ello, para que la cadena sea eficiente, los proveedores del primer nivel tienen necesidad de establecer relaciones con otros proveedores que corresponden a fabricantes de insumos y materias primas de *segundo y tercer nivel*.

Existen autopartes de alta tecnología (AT) (sensores, computadoras de motor, sensores electrónicos, sistemas de navegación, sistemas de entretenimiento, velocímetros, solo por mencionar algunos) y de baja tecnología (BT) (bandas, balatas, focos, baterías, llantas, amortiguadores, chasis, estampados de lámina, entre muchos otros).

A diferencia del sector terminal en el que todas las empresas son extranjeras, en el sector autopartes podemos encontrar gran variedad de tipos de empresas en cuanto a origen del capital (nacional, extranjero, co-inversión), tamaño (grande, mediana, pequeña) y orientación de mercado (desde fábricas locales de refacciones hasta maquiladoras).

A. *Tendencias recientes en las Industrias Automotriz y de Autopartes a nivel mundial*

Se presentan a continuación las tendencias recientes en las industrias automotriz y de autopartes a nivel mundial, de acuerdo a Román [5].

1) *Globalización*

- A. Se incrementa el intercambio libre de activos, servicios y capital para vender, producir, mercadear y desarrollar productos
- B. Estandarización de activos y procedimientos para mejorar la eficiencia global mediante uso común (o compartido) de recursos aplicados, productos y procesos
- C. Racionalización de la Cadena de Distribución
- D. Incremento de la Capacidad en Mercados Emergentes
- E. El Sudeste de Asia como el área potencial clave de crecimiento
- F. Consolidación, Alianzas Estratégicas entre Productores y entre Productores y Proveedores de Autopartes

2) *Desarrollo Rápido de Productos*

- A. Reducir “el tiempo al mercado” como condición clave para participar en un mercado con ciclos de vida cortos
- B. Implementar estrategias para acelerar el tiempo de desarrollo de productos para: Crear ventajas al entrar a nuevos mercados y crear diferenciación en mercados actuales
- C. Construir o consolidar plataformas flexibles para distintos modelos
- D. Incorporar la opinión del consumidor desde el arranque de la etapa del diseño
- E. Obtener diseños, manufacturas y mercadeos integrados
- F. Incluir bases integradas de proveedores en el proceso de diseño

3) *Integración de la Cadena de Valor*

- A. Básico para reducir “el tiempo a mercado” y acelerar la rapidez al mercado
- B. Integración de procesos internos y externos para permitir el flujo fácil de materiales,

productos e información de los proveedores a los consumidores

- C. Asignar actividades suplementarias a Outsourcing
- D. Utilización de bases tecnológicas de Internet
- E. Integración de ingeniería, diseño y control de inventarios
- F. “Una Estación Global de Compra” por alianzas estratégicas, así como por fusiones y adquisiciones.
- G. Implementación de Sistemas de Gerencia de Conocimiento

4) *Cercanía con el Consumidor:*

- A. Comprensión de las necesidades y estrategias de compra de clientes
- B. Desarrollo y consolidación de competencias para ganar y retener clientes
- C. Mantener e incrementar: rapidez de atención, calidad de servicio, valor agregado, calidad y tiempo
- D. Desarrollar confianza y confiabilidad a la entrega de productos y provisión de servicios
- E. Mejorar la capacidad para identificar nuevos nichos y preferencias de consumo

5) *El “Estado del Arte” de la Manufactura:*

- A. La industria continúa solicitando que se cumplan posiciones o puntos de *benchmarking* sobre la calidad, los recursos humanos involucrados y los procesos de manufactura demandando una asignación óptima de flujos de recursos
- B. El enfoque de calidad total como base para lograr una organización de aprendizaje continuo y costo competitivo
- C. “Cero defectos” y eliminación de desperdicios
- D. Desarrollo de equipos de alta eficiencia y efectividad
- E. Flexibilidad de producción y reducción de capital de trabajo
- F. Compromiso de los equipos de alta efectividad y *benchmarking* continuo

B. *Sector de Autopartes en México*

Después de la guerra, y antes del primer decreto

de integración nacional de 1962, la industria de autopartes cobró un modesto desarrollo. Se crearon empresas para la fabricación de autopartes pero la mayoría siguió orientada al mercado de repuestos, no para el ensamble de vehículos nuevos; es decir, no como equipo original. A partir de 1962, la industria mexicana de autopartes ha experimentado un crecimiento rápido y robusto (Ver figura 3). En una primera fase se orientó al mercado interno con alta sensibilidad a los ciclos económicos. Después, las exportaciones han sido el factor mayormente responsable del crecimiento continuo.

Producción Nacional de Autopartes

Millones de dólares

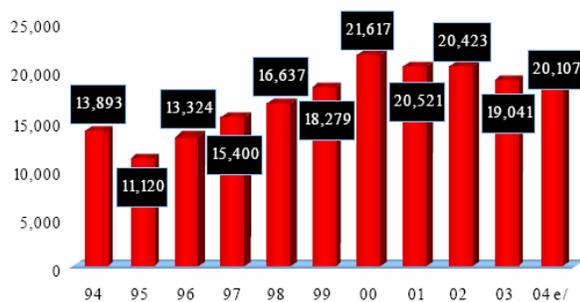


Fig. 3. Producción Nacional de Autopartes.
Fuente: INEGI & INA.

Actualmente, en términos de su importancia dentro de la industria manufacturera, las autopartes constituyen el segundo producto de mayor exportación del sector manufacturero, sólo después de los vehículos. Al cierre de 2003, el sector de autopartes contribuyó con el 10 por ciento de las exportaciones manufactureras [2].

El sector de autopartes está constituido por mil empresas de las cuales 70 por ciento son empresas de capital extranjera y 30 por ciento nacional. Del universo total de empresas, 345 de ellas son fabricantes de primer nivel y las restantes corresponden a fabricantes de insumos y materias primas de segundo y tercer nivel.

Por lo que respecta a su ubicación, la mayoría de las empresas se localizan alrededor de las plantas armadoras de vehículos para cumplir con las exigencias de proveeduría y entrega que la industria terminal les exige. De esta manera, Nuevo León, Distrito Federal y Estado de México son las tres entidades con mayor presencia de empresas de Autopartes y juntos, concentran a casi el 53 por

ciento del total de los fabricantes en el país [6].

Se encontró que el parque vehicular mexicano es el segundo en importancia en América Latina, según el último censo de 1999 alcanzaba casi los once millones de unidades, con una edad promedio de doce años, sin contar la innumerable cantidad de vehículos ilegales que circulan en el país, sobre todo en las zonas fronterizas. Esta cifra representa una importante oportunidad para las autopartes que se producen destinadas a las refacciones.

En México hay aproximadamente 12 millones de vehículos en circulación, según datos de la Industria Nacional de Autopartes (INA) de los cuales sólo cerca de 3 millones tienen 5 años o menos. Por lo tanto, como base de referencia, 10.5 millones de vehículos son los que necesitan autopartes para repuesto. Según INA, se estima que en México se fabrican y venden al año cerca de un millón y medio de vehículos.

IV. METODOLOGIA

Se realizó una investigación para determinar los factores críticos de éxito en la industria de autopartes en el mundo y en México, enfocándose en los elementos de la cadena de valor de dicha industria.

El desarrollo de la investigación se inició con la identificación de los descriptores que caracterizan la industria de autopartes a nivel mundial, posteriormente se llevó a cabo un diagnóstico sobre el comportamiento global de la industria teniendo en cuenta el potencial de mercado, los jugadores de clase mundial, el sector autopartes en México, la estructura de dicho sector, la inversión efectuada en la industria *target*, el impacto de la industria en el PIB, su métrica de desempeño y los recursos humanos involucrados, este diagnóstico dio como resultado la identificación de los factores que determinan la ventaja competitiva para definir la problemática del sector de autopartes en México en su contexto holístico.

1) Diseño del Modelo

Con los resultados de la investigación, se concluyó sobre los factores de éxito críticos de la industria y se relacionaron a través de un diagrama

causal (ver figura 4). Dichos factores fueron relacionados a través de 6 ciclos: investigación y desarrollo tecnológico, exportaciones, importaciones, balanza comercial, inversión privada e inversión pública.

Mediante el análisis del mismo, se comprende la dinámica del sector que sirve como base para construir el modelo de simulación en i-Think (ver figura 5). El modelo refleja un comportamiento muy similar al comportamiento real de la Industria de Autopartes; las ventas están en función de la demanda e importaciones. No hay un desarrollo actual de productos de alta tecnología (MEMS) lo cual está debidamente representado en el modelo.

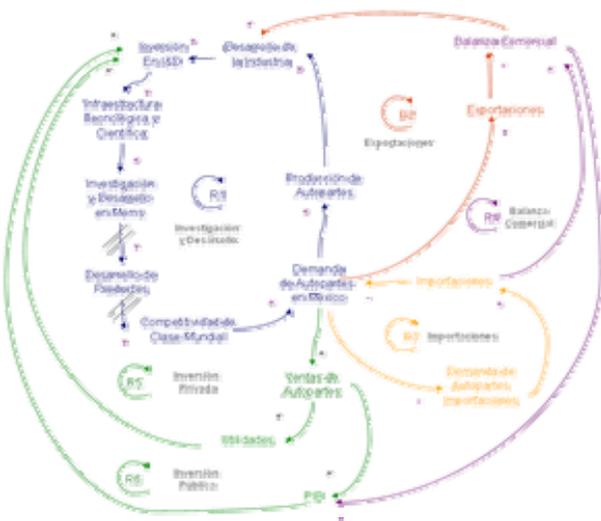


Fig. 4. Diagrama Causal

Mediante el análisis del mismo, se comprende la dinámica del sector que sirve como base para construir el modelo de simulación en i-Think (ver figura 5). El modelo refleja un comportamiento muy similar al comportamiento real de la Industria de Autopartes; las ventas están en función de la demanda e importaciones. No hay un desarrollo actual de productos de alta tecnología (MEMS) lo cual está debidamente representado en el modelo. Si no se realizan esfuerzos para crear ventajas competitivas, las importaciones harán estragos en las ventas de autopartes.

V. RESULTADOS

Se realizó un análisis de sensibilidad para determinar las variables críticas del modelo y se

construyeron escenarios para responder a los cuestionamientos iniciales.

1) *Escenario 1: Aumento en Investigación y Desarrollo (I&D) orientada MEMS.*

Este escenario busca dar respuesta a la pregunta: ¿Crecerán las ventas de la Industria de Autopartes si una parte de la inversión actual en I&D se destina al desarrollo tecnológico de sistemas MEMS?

Se tomaron las siguientes consideraciones iniciales: La inversión en Desarrollo Tecnológico es constante, con un valor del 4% sobre el PIB (valor actual) para la Industria de Autopartes. De esta inversión en I&D, el 1% será para el desarrollo de productos de tecnología MEMS.

Bajo estas consideraciones es factible obtener productos de tecnología MEMS después de tres años además de elevar la competitividad de la industria nacional e incrementar las ventas de autopartes en un 13% en promedio anualmente a partir del cuarto año con la entrada de los productos de MEMS. Por otro lado las importaciones comenzarían a disminuir gradualmente a partir del cuarto año, pero no es sino hasta el sexto que la balanza comercial es positiva teniendo saltos anuales en promedio de 1,000 millones de dólares.

2) *Escenario 2: Aumento en Inversión Privada y en I&D orientada a MEMS*

Con este escenario se busca dar respuesta a la pregunta: ¿Crecerán las ventas de la Industria de Autopartes con el apoyo de inversión privada destinada al desarrollo tecnológico de MEMS?

Las consideraciones iniciales para este escenario son: La destinación del 1% de las utilidades de las empresas a I&D de la Industria de Autopartes y además el 1% de I&D será para el desarrollo de productos de tecnología MEMS.

Con tales premisas, si las empresas privadas invirtieran el 1% de sus utilidades en investigación y desarrollo en la industria de autopartes y además, el 1% de la infraestructura tecnológica se enfocara a la productos de tecnología MEMS, entonces al cuarto año se comenzarían a ver los resultados de dicha inversión; para este periodo la industria tendría sus primeros productos de MEMS, haciendo crecer la competitividad, ganando mercado nacional

e internacional y finalmente, incrementando las ventas. Esta combinación de Inversión Privada con I&D en MEMS lograría que para el sexto año se registrara una balanza positiva.

3) Escenario 3: Aumento en Inversión Pública y en I&D orientada a MEMS.

Los cuestionamientos relacionados con este escenario son: ¿Crecerán las ventas de la Industria de Autopartes si crece la inversión pública destinada al desarrollo tecnológico de sistemas micro electromecánicos?

Tomando en cuenta las consideraciones iniciales de destinar el 0.48% del PIB generado por la industria de autopartes a I&D de la Industria de Autopartes y además el 1% de I&D para el desarrollo de productos de tecnología MEMS.

A partir de la investigación realizada por CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) se observó que desde 1990 el porcentaje de gasto Federal para Ciencia y

Tecnología con respecto al PIB ha fluctuado de 0,28% a 0,42%, presentado un crecimiento considerable, por lo cual se decidió tomar el valor de 0.48% para desarrollar este escenario.

Dentro de los resultados obtenidos en este escenario se destaca que la inversión pública aumenta, el indicador de productos desarrollados a partir del cuarto año (después del retraso de tres años del proceso de desarrollo de productos) aumenta de 1,71 a 1,82 en el periodo de la corrida del modelo; de igual manera se muestra en el mismo tiempo el incremento de la salida de la variable de ventas de autopartes del 63% a pesar de las fluctuaciones presentadas en su comportamiento, las cuales se asemejan a la situación real.

4) Escenario 4: Aumento en Inversión Privada, Inversión Pública y en I&D para MEMS

Con este escenario se responde a la pregunta: ¿Crecerán las ventas de la Industria de Autopartes apoyado en la inversión privada y en inversión

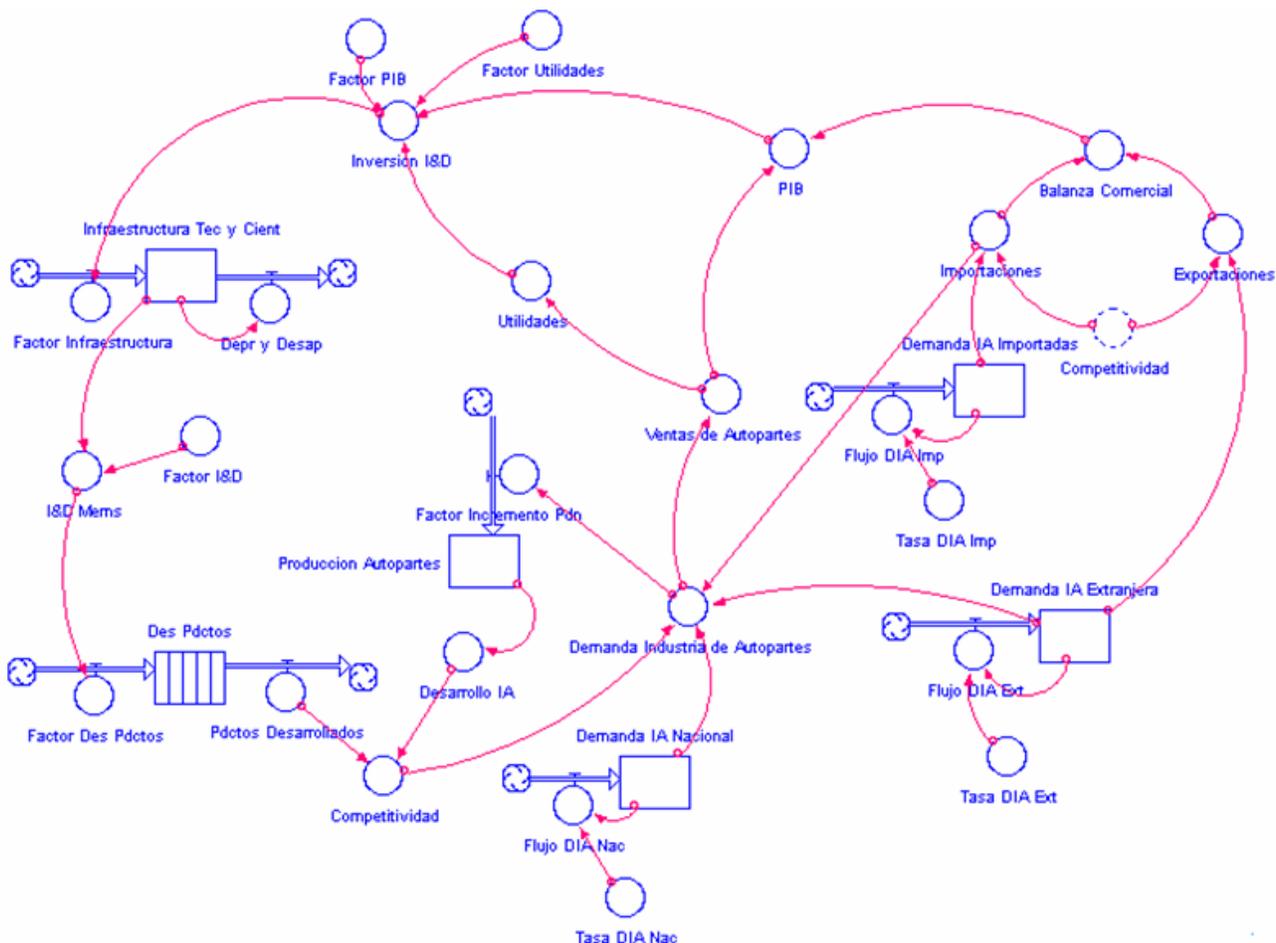


Fig. 5. Modelo de Simulación en i-Think

públicas destinadas al desarrollo tecnológico de

MEMS?

Sus consideraciones iniciales son el incremento del porcentaje en el PIB orientado a I&D en Industria de Autopartes a un 0.48%, se destina el 0.1% de las utilidades de las empresas a I&D de la Industria de Autopartes y además el 1% de I&D será para el desarrollo de productos de tecnología MEMS.

De acuerdo a la simulación del modelo de autopartes, se observó que si existe, tanto inversión pública como inversión privada en la industria de autopartes para la investigación y desarrollo de tecnología MEMS, se presenta un incremento en el desarrollo de productos en el cuarto año. Las ventas se van incrementando paulatinamente a partir del sexto año, y se refleja también una diferencia entre las importaciones y las exportaciones a partir del séptimo año, logrando una balanza comercial favorable para el país. Ya que al principio la balanza comercial se mostraba con saldos negativos, puesto que las importaciones eran mayores que las exportaciones y no había inversión en investigación y desarrollo en autopartes.

De la misma manera se observa que cuando existe un aumento en las importaciones, las ventas sufren una disminución significativa. Sin embargo, se logra un equilibrio después de seis años cuando las exportaciones de autopartes aumentan, ya que se invierte en investigación y desarrollo en la industria y las ventas se incrementan más a partir del noveno año, esto quiere decir, que hay mayor competitividad a nivel mundial en la industria de autopartes.

Tabla I. Comparación de Escenarios

RUBRO	AÑO 0		AÑO 10				
	Condiciones Actuales	Condiciones Actuales	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Ventas	\$ 19,058.60	\$ 24,256.38	\$ 27,002.82	\$ 29,178.20	\$ 29,178.22	\$ 29,178.16	\$ 24,314.82
Importaciones	\$ 14,273.70	\$ 23,460.53	\$ 15,546.56	\$ 15,155.78	\$ 15,316.29	\$ 14,911.36	\$ 23,171.97
Exportaciones	\$ 10,672.90	\$ 16,696.44	\$ 19,081.64	\$ 19,081.64	\$ 19,081.64	\$ 19,081.64	\$ 19,081.64
Balanza Comercial	-\$ 3,600.80	-\$ 6,764.09	\$ 3,535.09	\$ 3,925.86	\$ 3,765.36	\$ 4,170.28	-\$ 4,090.32

5) *Escenario 5: Incremento en I&D para MEMS y Disminución de la Inversión Pública Actual.*

A través de este escenario se puede responder a la pregunta: ¿Crecerán las ventas de la Industria de Autopartes si una parte de la investigación y

desarrollo se destina a MEMS pero la inversión pública disminuye?

Se destina el 0.6% de la I&D para el desarrollo de productos de tecnología MEMS y la inversión pública del 0.4% decrece al 0.3% como consideraciones iniciales de este escenario.

En esta ocasión se decidió llevar el factor de inversión pública de 0.4% a 0.3%, la disminución de este valor de gasto Federal para Ciencia y Tecnología con respecto al PIB redundará en un aumento de la balanza comercial apalancado por el incremento en las exportaciones y el aumento no tan pronunciado de las importaciones; estas últimas aumentan en el mismo periodo de tiempo un 6% más que las exportaciones, razón por la cual, aunque exista un aumento en las exportaciones la balanza comercial sigue siendo negativa y no cambia de manera sustancial la tendencia.

De igual manera se detuvo la inversión privada en actividades de I&D, teniendo así como única fuente de financiamiento el gasto federal para este rubro; de igual manera se redujo el porcentaje de inversión destinado a I&D experimental en MEMS de un 1% a un 0,6%.

Se muestra una tabla (ver tabla 1) comparativa donde se detalla el comportamiento actual de la industria nacional de autopartes, su comportamiento dentro de 10 años si permanecieran las condiciones actuales, así como el comportamiento dentro de 10 años bajo los distintos escenarios planteados en esta investigación.

Tal como se puede apreciar en la Tabla 1, si la inversión efectuada a la Investigación y Desarrollo en la industria de autopartes permanece igual y si la I&D continúa siendo enfocada a los productos de

baja tecnología, entonces las ventas seguirán subiendo a un ritmo constante, al igual que las importaciones y la balanza comercial en esta industria seguirán siendo negativa. El peor escenario (escenario 5) nos muestra que esta

balanza comercial puede tomar números positivos si se dedica una parte de la I&D al desarrollo de productos de alta tecnología, específicamente MEMS. Sin embargo, este escenario puede presentar resultados todavía más plausibles a medida que se aumente la inversión en este rubro. Por un lado, tenemos la aportación actual del gobierno a industria, pero lo más importante que se detectó en el modelo es que se requiere una inversión privada en esta área. De hecho, si comparamos el escenario 2 y el escenario 3 podemos notar que es más significativa la aportación que puede hacer la industria privada a la que puede otorgar el gobierno. El mejor escenario (el escenario 4) consiste en complementar la inversión pública con una inversión privada y en darle auge a la investigación y desarrollo de productos de MEMS. Bajo estas premisas, la Industria Mexicana de Autopartes podrá ser competitiva y el resultado será el incremento de sus ventas en un 20%, cubriendo la demanda nacional, disminuyendo las importaciones y tomando una mayor ventaja en el mercado de exportaciones.

VI. ESTRATEGIAS

Teniendo en cuenta las implicaciones de las variables sensibles del modelo, los resultados de los escenarios, el consecuente análisis comparativo desarrollado y la asimilación de diferentes líneas de acción para el crecimiento del sector de autopartes de algunos países, se generaron una serie de estrategias que se prospectan como facilitadoras para el avance positivo de la industria de autopartes mexicanas: el Incremento de capacidades tecnológicas, atracción de proyectos de inversión a México, vinculación empresa-gobierno-academia, inversión pública, y la creación de Centros de Investigación para el sector; las cuales se exponen a detalle a continuación.

A. Incremento de capacidades tecnológicas

El desarrollo tecnológico es una acción central para enfrentar los cambios que se avecinan en el panorama de la industria automotriz mundial, así como un elemento de diferenciación de valor. Las tendencias en la industria a nivel mundial requieren que las empresas de autopartes estén cada vez más

familiarizadas con la tecnología de proceso, de producto, de materiales, así como de comunicación entre clientes y proveedores. Es fundamental que se definan las prioridades estratégicas en materia de tecnología a nivel industria y se realicen las acciones necesarias para llevarlas a cabo a la brevedad. Por esto, es muy importante que se comiencen a generar programas de desarrollo para definir la situación futura y diseñar los medios de implementación [4].

Una de las estrategias que se observaron en el modelo es el aumento en investigación y desarrollo de tecnología emergente como MEMS. Ya que de acuerdo a la investigación que se realizó acerca de la industria de autopartes con respecto a la de otros países, los avances en el desarrollo de tecnología en los últimos años, así como los crecimientos proyectados en los mercados a nivel mundial como Asia, apuntan hacia la creciente utilización de nuevas tecnologías, como por ejemplo: autos híbridos, autos eléctricos, celdas de combustible, tecnología diesel y uso de materiales más ligeros. Y de acuerdo a encuestas que se han aplicado para medir capacidades tecnológicas indican que las empresas grandes o con capital extranjero cuentan con mayores oportunidades para competir y permanecer en el mercado. Estas oportunidades se refieren a una innovación más constante, un mejor acceso a recursos tecnológicos y la posibilidad de enfrentar mejor las barreras dentro de la industria. Esto presenta un reto para las empresas pequeñas y/o de capital nacional que deben incrementar sus capacidades de innovación para poder competir, como es el caso de la industria mexicana [2]. Las condiciones que ofrece México son favorables, puesto que la industria de autopartes es una de las más importantes a nivel nacional y de acuerdo a datos que han encontrado mencionan que en las últimas décadas y ante la creciente competencia en el mercado interno y externo, un sector de las empresas locales de autopartes inició un proceso intenso de adquisición de capacidades tecnológicas y organizacionales que implicaba cambios en la organización del trabajo, inversiones en equipos modernos tales como maquinaria de control numérico computarizada, centros de maquinado, robots, técnicas de mantenimiento computarizado,

controles de proceso, etc. [2]. Esta transformación permitió a este conjunto de empresas cambiar de una producción de altos costos, falta de flexibilidad para el cambio, calidad deficiente y altos rechazos, a otra considerada hoy como producción de “clase mundial” por su calidad, confiabilidad y métodos de producción flexible.

Esta breve reseña de la historia de la industria de autopartes muestra cómo las empresas nacionales lograron consolidar la acumulación de capacidades tecnológicas que les permitió permanecer como proveedores de primera línea a pesar de las crecientes inversiones de las empresas internacionales.

Por lo anterior, las condiciones en México son favorables para que se incremente en investigación y desarrollo en la industria de autopartes en México en lo referente a tecnología MEMS, y se pueda tener un incremento en las ventas debido al aumento de tecnología en la industria de autopartes.

B. Atracción de proyectos de inversión a México

Históricamente la industria de autopartes se ha concentrado en abastecer a la industria terminal establecida en México. Así, aumentos en la producción nacional de vehículos impactan de manera positiva a la producción de autopartes. El aumento de la producción requerirá la creación de las condiciones propicias para atraer la inversión de la industria terminal. Los programas requeridos incluyen: el desarrollo de infraestructura; la simplificación y desregulación de trámites; y el acceso eficiente a energéticos [4].

De acuerdo con los datos obtenidos la producción de la industria de autopartes ha crecido lo mismo que la de la industria terminal desde los años ochenta a tasas superiores que las de la industria manufacturera. Entre 1980 y 1985 el PIB de la industria de autopartes creció a una tasa promedio anual del 4%. El periodo de mayor crecimiento se registró entre 1986 y 1990 con una tasa del 9% promedio anual, porcentaje que disminuyó en los noventa debido a la crisis de 1995 [2].

De manera tradicional la producción de autopartes ha estado determinada por la producción de la industria terminal. De esta manera, el aumento en la producción nacional de vehículos impacta de

manera positiva a la producción de autopartes. Relacionado con lo anterior, actualmente, en el mercado mexicano, existe una variedad cercana a los 300 modelos de vehículos, de los cuales aproximadamente 50 modelos se producen en la nación. Debido a que estos segmentos se están satisfaciendo, en su mayor parte, a través de importaciones, existe la oportunidad de ampliar la producción nacional.

El incremento en la producción, independientemente del medio a través del que se implante, requiere de la participación activa, tanto del gobierno federal como de los gobiernos estatales. Se deben de crear programas e instrumentos que fomenten la inversión extranjera en la industria. Estos programas deben incluir herramientas que faciliten la decisión, por parte de las empresas extranjeras, para desplazar parte de su producción hacia el país [4].

Estos elementos, entre otros, son el desarrollo de infraestructura para el establecimiento de empresas, programas de incentivos fiscales, programas de desarrollo de centros de producción de manera conjunta con las empresas y acceso a insumos indirectos, como energía eléctrica y combustibles, de manera rápida y eficiente. Sin una participación intensa por parte del gobierno, será difícil que esta oportunidad se materialice.

C. Vinculación Empresa-Gobierno-Academia

Gran parte de las acciones requeridas dentro de la industria necesitan de la combinación de esfuerzos por parte de las empresas, el gobierno y las instituciones académicas. La vinculación de estos tres participantes es un factor importante que permitirá generar planes más integrales en pro del desarrollo de la industria, así como la aplicación de estrategias.

Musik, [4] menciona que los esfuerzos aislados representan un mayor costo, y su alcance es más limitado. De este modo, los esfuerzos de manera conjunta permitirán crear una base más sólida, basada en una cultura automotriz que se transmita por cada uno de los eslabones de la cadena productiva, logrando resultados con un mayor impacto positivo en la industria. Así, empresas, gobierno y academia, deben realizar distintas

acciones para lograr dicho objetivo.

Las empresas son quienes cuentan con el conocimiento, y su transmisión se puede dar a través de un proceso de apertura, en el cual permitan que la gente se prepare y así se podrá generar un verdadero conocimiento del sector de autopartes en México.

Por parte del gobierno, se crearán planes y programas de trabajo que engloben las necesidades de todos los participantes del sector, programas de investigación y desarrollo, así como de soporte. Estos planes deben contar con objetivos específicos, como son la formación y capacitación de recursos humanos, que puedan competir dentro de los estándares a nivel regional y mundial que demanda la industria automotriz, así como aquellos enfocados al desarrollo de la red de proveedores y tecnológico. Algunos de estos planes pueden estar enfocados a ingeniería de procesos, de diseño y de materiales, ya que estas áreas constituyen puntos importantes para el desarrollo de la industria en el futuro.

La colaboración con instituciones académicas permitirá contar con profesionales y técnicos mejor preparados, los cuales estén inmersos dentro de la cultura propia de la industria y con conocimientos dedicados al fortalecimiento del sector. Se pueden promover estudios y documentos de investigación que permitan identificar las principales tendencias dentro de la industria. De igual manera, es importante que se genere un modelo para romper con el círculo vicioso de la visión de corto plazo de algunas empresas, en las que se pueda fomentar una visión hacia horizontes de planeación de mayor plazo[4].

A través de la vinculación entre los tres participantes, se podrán crear centros de investigación y desarrollo, enfocados específicamente a la industria de autopartes. En estos centros se podría contar tanto con recursos humanos como con infraestructura especializada, para generar beneficios importantes a la industria.

La investigación desarrollada muestra que a la fecha no existe para la industria de Autopartes de México un Centro de Investigación que ejerza como integrador entre el sector empresarial, el académico y el gobierno, consideramos que es de gran

relevancia que la inversión que se realice este enfocada hacia entidades de este tipo, que permitan un mayor control y a la vez cobertura de las acciones de Ciencia y Tecnología en el sector.

De igual manera se concluyó que una definición de Centro de Investigación apropiada a los requerimientos actuales de la industria sería la de los Centros Nacionales de Desarrollo Tecnológico Sectorial, los cuales se enfocan al dominio y generación de conocimientos especializados en tecnologías propias de un sector o actividad económica. La iniciativa de su creación podría provenir del Instituto Nacional de Autopartes y del Sistema Nacional de Innovación.

Es así como vemos al gobierno como catalizador y formador de grupos de asesores para la promoción de proyectos, las asociaciones de empresarios estableciendo comunicación para la búsqueda de proveedores y clientes nacionales, las universidades apoyando el proceso de desarrollo de nuevas tecnologías, y las empresas de primer nivel fortaleciendo sus relaciones de cooperación con sus proveedores para transmitirles nuevas tecnologías y cambios organizacionales [2].

Teniendo en cuenta que el diseño de partes y componentes se desarrolla con mucha antelación al lanzamiento de los nuevos modelos de automóviles es necesario que los centros de Desarrollo Tecnológico se ubiquen geográficamente cerca de las industrias a las cuales apalanque.

En forma particular, en un periodo de dos o tres años previos, se deben efectuar las planeaciones necesarias de diseño y adaptación tecnológica de las autopartes, adecuándola a las necesidades de la empresa productora del vehículo. Este proceso requiere de una inversión, investigación y desarrollo anticipado; asimismo, una coordinación cuidadosa de incorporación de las autopartes al automóvil nuevo mediante acuerdos, así como condiciones negociadas y acordadas entre el comprador y los vendedores. Por estas razones es necesario que la iniciativa de creación del Centro Nacional de Desarrollo Tecnológico del Sector de autopartes se consolide en el término de un año, y que además se constituya en estrategia base del Desarrollo en I&D de la industria.

Es de mencionar, para resaltar el papel de los

centros de investigación, que el Centro de Productividad de Hong Kong ha tenido una especial importancia al prestar servicios tecnológicos y mejoramiento de la productividad y la calidad a las empresas [3]. Siendo Hong Kong una potencia en la industria textil a nivel mundial el Centro de entrenamiento y diseño establecido en esta área ha contribuido sustancialmente a incrementar la competitividad en diseño de textiles y confecciones. Tarea similar debe tener el Centro Nacional de Desarrollo Tecnológico del Sector de autopartes en la industria nacional.

D. Inversión Pública

De acuerdo al Plan Estratégico del programa nacional de desarrollo tecnológico industrial y calidad, 2000 – 2010, una de las características esenciales de las estrategias industriales en siete países entre los que se encuentran Hong Kong, Corea, Singapur y Taiwán, es su carácter de política de Estado. La industria ha sido objeto de políticas macroeconómicas explícitas y continuas, por ejemplo, el mejoramiento de la infraestructura, la modernización de los instrumentos financieros, la decisión de crear capacidades de I&D, el fomento a la inversión extranjera como la forma óptima de hacer la transferencia de tecnología, el incremento de la productividad, la calidad y la competitividad, el apoyo a productos de exportación.

Los países de mayor desarrollo se caracterizan por el compromiso de los sectores público y privado con la ciencia y la tecnología, que se traduce en inversiones de los Estados del 3% en promedio del Producto Interno Bruto en ciencia y tecnología, el liderazgo y aporte del sector privado que financia entre el 50-70% de los gastos de I&D, la dedicación del 3-5% del valor de las ventas de las empresas a actividades de I&D, la comercialización de productos innovadores que representan, por lo menos, un 30% del portafolio de sus ventas, la valoración del Know-How y del patrimonio tecnológico de las compañías, como una nueva forma de contabilidad del conocimiento, y la formación de recursos humanos de alto nivel para ciencia y tecnología.

Es por esto que la estrategia de inversión pública propone que el gobierno tenga un papel crítico no

desagregado del sistema económico de la industria, esto es que a través del Sistema Nacional de Innovación se induzca a las empresas locales a desarrollar sus propias capacidades de I&D mediante subsidios y otros incentivos, todo ello en un marco de política comercial y sectorial, enfocada específicamente hacia tecnologías emergentes tal y como lo es el financiamiento proyectos de innovación y desarrollo tecnológico, con alto riesgo tecnológico y comercial, que realicen empresas del sector, entre otros [3].

VII. CONCLUSIONES

De los escenarios se desprenden las siguientes conclusiones: si la inversión efectuada a la Investigación y Desarrollo en la industria de autopartes permanece igual y si la I&D continúa siendo enfocada a los productos de baja tecnología, entonces las ventas seguirán subiendo a un ritmo constante, al igual que las importaciones y la balanza comercial en esta industria seguirá siendo negativa. El peor escenario nos muestra que esta balanza comercial puede tomar números positivos si se dedica una parte de la I&D al desarrollo de productos de alta tecnología, específicamente MEMS. Sin embargo, este escenario puede presentar resultados todavía más plausibles a medida que se aumente la inversión en este rubro. Por un lado, tenemos la aportación actual del gobierno a industria, pero lo más importante que se detectó en el modelo es que se requiere una inversión privada en esta área. De hecho, si comparamos el escenario 2 y el escenario 3 podemos notar que es más significativa la aportación que puede hacer la industria privada a la que puede otorgar el gobierno. El mejor escenario consiste en complementar la inversión pública con una inversión privada y en darle auge a la investigación y desarrollo de productos MEMS. Bajo estas premisas, la Industria Mexicana de Autopartes podrá ser competitiva y el resultado será el incremento de sus ventas en un 20%, cubriendo la demanda nacional, disminuyendo las importaciones y tomando una mayor ventaja en el mercado de exportaciones.

REFERENCIAS

- [1] Andersen Consulting Group., The Second Lean Enterprise Report, 1997.
- [2] F. Brown Grossman, “La Industria de Autopartes Mexicana: Reestructuración Reciente y Perspectivas”. Industria Nacional de Autopartes. <http://www.ina.com.mx/>. (Consultado 2 de febrero, 2005)
- [3] COLCIENCIAS. “Plan Estratégico Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad 2000-2010”. Bogotá, noviembre de 2000. <http://www.colciencias.gov.co/programas/dtic/pdfs/plane st.pdf> (Consultado enero 23, 2005)
- [4] G. Musik, “El Sector Autopartes en México, Diagnóstico, Prospectiva y Estrategia”. Centro de Estudios de Competitividad del Instituto Tecnológico de México; México, 2004. <http://cec.itam.mx/htm/Resumenes%20Ejecutivos/Resumen%20Ejecutivo%20Autopartes.pdf>. (Consultado febrero 3, 2005)
- [5] M. F. Román Enríquez, “Programa Fundamental para el Desarrollo Económico del Estado de México hacia el 2005 y de Competitividad Visión 2020”. Secretaría de Desarrollo Económico. <http://www.edomexico.gob.mx/sedeco/pdf/clusters/rauto partes.pdf> (Consultado enero 23, 2005)
- [6] “El Sector de Autopartes en México”. Industria Nacional de Autopartes. <http://www.ina.com.mx/>. (Consultado Febrero 2, 2005).
- [7] What is MEMS Technologies?. <http://www.memsnet.org/mems/what-is.html>. (Consultado en Febrero 21, 2005)

Building “dynamic” balanced scorecards to enhance strategy design and planning in public utilities

Key-findings from a project in a city water company

Bianchi, Carmine., Montemaggiore, Giovan Battista
bianchi@unipa.it, montemaggiore@economia.unipa.it
University of Palermo (Italy)

Abstract – Increasing complexity and uncertainty of both business internal and external variables determines a growing need for prompt and accurate information. On this concern, in the last decade, there has been an increasing effort to provide public utilities with tools aimed to support decision makers in planning and control, by taking into account not only operational but also strategic issues. Among them, for instance, customer satisfaction, internal business process efficiency, business image, and bargaining power against other counterparts (e.g. the municipal administration). Quite often, however, such an effort has been oriented to generate a large volume of data, only focused on financial indicators and on a static view of the relevant system. This paper shows how the use of Balanced Scorecards based on System Dynamics models can significantly improve the planning process in a strategic learning perspective. Empirical findings from a research project conducted in a municipal water company are analysed and discussed.

I. THE RISING DYNAMIC COMPLEXITY IN PUBLIC UTILITY MANAGEMENT AND THE NEED OF INNOVATION IN PLANNING & CONTROL SYSTEMS

In order to improve efficiency in public utility management, in the past decade Governments have been undertaking privatisation policies. Higher competition and decentralised decision making were expected to result into greater accountability and performance.

However, this transformation of the public utility sector has sensibly increased managerial complexity. In fact, since local governments tend to maintain control over company equity, they have to run competitive firms by simultaneously playing

the roles of owner, ruler, budget designer and social service provider [1].

In particular, because of the regulations required by the social relevance of public utility services, management is subject to several limitations in the use of policy levers. Dynamic complexity of management tasks has also been dramatically increased by the fast technological evolution and the rising concern on environmental and social issues, which have led to rapid changes in regulations.

Another important complexity factor in such a peculiar environment is related to the wide range of stakeholders who play an active role in the legislative and policy making process. Regulatory agencies, local government associations, representatives of the professional and business community, and consumer protection agencies may take part in the formulation of company policies. This increases the effort the management has to make in order to balance the different interests that public utilities have to satisfy.

Therefore, to pursue competitiveness, financial stability, and to meet different social needs at the same time, public utility managers need proper strategy design and planning tools that allow them to take into consideration both stakeholders' expectations and the sustainability of company policies.

To this end, traditional planning and control systems exclusively based on financial indicators

are insufficient to communicate to shareholders and stakeholders the value creation process the management wants to foster through the designed strategy [2]. As a matter of fact, financial measures only do not provide an accurate picture of the company's direction and, hence, can lead the management to seek short-term goals rather than long-term growth.

For instance, managers may be reluctant to invest in intangible assets in order to avoid reductions of current financial results [3]. In the long term, however, such a policy may imply lower efficiency, as well as customers and other stakeholders dissatisfaction.

Another drawback in the use of only financial indicators is associated to the difficulty to measure non-monetary goals. This may hinder communication of companies' strategy to managers and employees at different levels of the organization hierarchy, and generate incongruence between strategic decisions and daily operations.

For the above reasons, there has been a growing effort to provide public utilities with tools aimed to support decision makers in planning and control, by taking into account not only financial indicators but also intangible variables (e.g., such as customer satisfaction, business image, and bargaining power against other counterparts), and their dynamic interdependencies. Therefore, more relevant, selective and systemic reporting systems are needed.

Although the availability of such information might appear as an easy task today, in the *information age*, planning & control tools are often characterised by an access to a great volume of analytic data, which actually overload the decision making process [4].

A proper planning and control system design implies, on the contrary, a focus on the key-indicators of companies' efficiency and effectiveness, and on their dynamic interdependencies.

This paper aims to offer an empirical evidence of the greater benefits public utility management can obtain by integrating the Balanced Scorecard (BSC)

approach to performance measurement with the System Dynamics (SD) methodology in the analysis of cause-and-effect relationships between key-variables of the company system.

With this purpose, a case study, based on research project with a city water company, will be analysed and commented.

II. FORMULATING PUBLIC UTILITIES' STRATEGY THROUGH A BALANCED SCORECARD APPROACH

Since its introduction in 1992 [5], the use of BSC has been widely spreading among private and public companies, as a performance measurement system enabling managers to translate strategy into a correlated set of performance indicators from different business perspectives.

Differently from traditional performance measurement systems, the BSC considers both financial and non financial performance, through a balanced set of lead and lag indicators [6] so that companies can simultaneously evaluate the achieved results and their progresses towards the implementation of a strategy in core business areas.

According to Kaplan and Norton, the BSC enables companies to measure financial results while simultaneously monitoring progress in building capabilities and acquiring the intangible assets they need for future growth [7]. Therefore, they explicitly recognize the BSC as a strategic tool for the control of both lag and lead indicators [8].

The increasing popularity of the BSC is due to the support it gives to the management in avoiding disconnections between strategy and implementation.

The BSC also stresses the idea of cause and effect relationships between measures in order to avoid that performance improvement in one area may be at the expense of performance in other areas. Kaplan and Norton, indeed, explicitly stated the systemic inter-relationships within and between four key-perspectives (financial, customer, internal processes, learning and growth),

incorporating both lead and lag indicators, which impact on organizational performance. The alignment of the strategy throughout the company, in fact, is the result of the causal linkages between the objectives in all the four perspectives.

Precisely, this approach is aimed to offer a systematic and comprehensive road map for organizations to follow in translating their mission statements into a coherent set of performance measures. These measures are not only intended to control company performances, but also to articulate and communicate the organization's strategy and to help align actions from different levels of management for the achievement of a common goal.

Furthermore, the BSC enhances managers' understanding of strategies and stimulates the creation of a common company vision. The BSC, indeed, forces managers to elicit, compare and discuss their implicit assumptions and beliefs and to articulate them for the formulation of company's strategy. Managers, in fact, are requested to contribute to the implementation of the BSC by identifying a set of objectives that are connected by causal relationships, which are consistent with the vision and mission of the company.

The BSC has been adopted by various public utilities in different sectors, such as electricity provision [7], [9], [10], telecommunication [11] and transportation [12]. Also in the water management sector there are a few applications of BSCs. For example, the City of Eugene's Wastewater Division (a section of the Oregon Public Works Department responsible for the wastewater treatment service) and the Charleston CPW (a municipal corporation that provides both water and wastewater treatment services to the City of Charleston) developed a BSC to include in their performance measurement system other management areas that were not covered by their environmental management system, such as the financial perspective¹. The BSC

approach helped these companies to set objectives and performance measures that, while not important from an environmental point of view, were relevant from the corporate management perspective. As a result, these companies could utilise this holistic approach to balance the costs of new capital investments with the benefits of meeting environmental goals. Another example of application of the BSC to the water management sector is provided by Metrowater (the Auckland City's water and wastewater utility), which used the BSC as a platform to measure the company's progress towards company objectives². This approach helped Metrowater to implement a comprehensive benchmarking against other utility companies in order to identify opportunities to become more efficient. Finally, the Water Utility Enterprise (Santa Clara Valley Water District)³ and the Sydney Water Corporation⁴ (a water utility that runs drinking water and wastewater treatment services in the Sydney Region) used the BSC approach to design their business plan including key objectives and targets from different managerial perspectives for all division levels.

In particular, the adoption of such a strategic performance measurement system supports public utilities in [13]:

- providing both public accountability to local governments and citizens and internal accountability between the different levels of management;
- improving performance in terms of quality, quantity, and costs of the services through better strategic planning;
- determining expenditure, by allocating budget resources to measurable results that reflect agreed priorities.

² Metrowater's Water Asset Management Plan 2004 - [http://www.metrowater.co.nz/pdfs/amp_water\(2004\).pdf](http://www.metrowater.co.nz/pdfs/amp_water(2004).pdf).

³ Water Utility Enterprise's Annual Business Plan Fiscal Year 2005 - <http://www.valleywater.org/media/pdf/FY05%20WUE%20ABP%20Final.pdf>.

⁴ Continual improvement in utility management: a framework for integration - http://asp1.walkontheweb.com/ctwater/ctwater_news_more.asp?id=9131.

¹ Continual improvement in utility management: a framework for integration - http://asp1.walkontheweb.com/ctwater/ctwater_news_more.asp?id=9131.

The translation of the company strategy into a causal map of financial and non-financial indicators required by the BSC makes this approach particularly valuable for public utilities to align the often conflicting objectives of the relevant number of stakeholders and shareholders involved in public utilities' policy making processes. In fact, more than other private companies, public utilities need a high level of consensus from local authorities and citizens before implementing a designed strategy. With this regard, the causal tree including the objectives in all the business perspectives is a powerful communication tool for the management to clarify to different shareholders and stakeholders how the company intends to achieve higher performance. A clear statement of the company strategy through the BSC map may enhance *cohesion* among stakeholders and shareholders and help management to explain them how some of their goals may conflict with the company overall strategy.

Moreover, BSC can help public utilities in simultaneously evaluating the achieved results and their progresses towards long-term value creation. Indeed, public utilities generally cannot use the service tariff as a policy lever. Most of the service contracts between the local government and the public utility contain a quite detailed description of the required service quality. Consequently, the search for higher financial results usually leads to cost-cutting activity.

However, the cost reduction activity may affect long-term investment, such as personnel training, equipment maintenance, information system implementation. Such a policy can improve short-term financial indicators at the expense of long-term performance drivers. Therefore, the balance between lag and lead indicators required by the BSC approach can help public utilities to avoid that cost-cutting activities hinder future growth. The BSC is also a valid tool to foster a cultural change in the management of the company at different levels of the organization. Despite the privatization process, most of the public utilities are still experiencing relevant difficulties in shifting

their culture from state company to private company. Aligning the reward system to the objectives included in the BSC helps employees to address their efforts towards company success, generating greater commitment and consensus around business strategies.

III. "DYNAMIC" BALANCED SCORECARDS TO ENHANCE STRATEGY DESIGN AND PLANNING

In spite of its widely recognized advantages, the BSC presents some conceptual and structural shortcomings.

First of all, different scholars have remarked that the BSC is a static approach [14]. The links among the parameters inside the four perspectives do not express their dynamic relationships. As a result, in the analysis of the strategy, delays between actions and their effects on the system are ignored.

Moreover, these relationships follow an open-loop logic and, hence, they do not consider feedbacks [15]. Although Norton and Kaplan stress the importance of feedback relationships between scorecard variables to describe the trajectory of the strategy, the cause and effect chain is always conceived as a *bottom-up* causality, which totally ignores feedbacks, where only the variables in the lower perspectives affect the variables in the upper perspectives.

The validity of BSC's assumptions about causal relationships between the included performance measures has been questioned by the literature. In particular, it has been demonstrated that the hypothesized links between quality and financial indicators may be not confirmed in reality. For instance, it has been remarked that the commonly assumed causal relationship according to which a higher customer satisfaction leads to higher financial results may not have any empirical evidence [3]. On the contrary, it may happen that the costs of policies aimed to increase customer satisfaction are higher than the related benefits, both in the short and long term. For such reason, the lack of rigorous validation of the BSC's assumptions may lead the management to the

selection of faulty performance indicators, which imply dysfunctional organizational behavior and sub-optimize results.

In addition, the BSC does not contain an exhaustive description of the system where managers operate. In fact, often in strategy design some important factors (e.g. competitors' reactions, technological innovations, shipping delays, labor shortages, rising material prices) are not considered. Managers can better handle their occurrences if they determine in advance which risks pose the greatest threat to their plans, what should be monitored to provide early warning of each risk, and the best response to such latent circumstances. Furthermore, the analysis of company strategy based on the BSC approach considers the causal relationships between performance variables only in qualitative terms. This implies that managers should rely on mental simulations and heuristics in order to quantify the results of their strategy and, hence, evaluate its efficiency and effectiveness. This task is even tougher when the company system is characterized by a high degree of complexity, non-linear relationships among variables, and delays between causes and effects. Indeed, Linard and Dvorsky [15] report that many studies in SD, as well as in economics and psychology, suggest that managers have great difficulty in dealing with dynamically complex tasks. Even a detailed causal loop analysis of the links between performance variables provides little help in predicting the complex interaction between multiple feedback loops. This often requires the use of simulation models.

For these reasons, the BSC offers little help in understanding and solving problematic behaviors of the key-variables. Also Kaplan and Norton warn managers that the BSC, though correctly implemented in terms of balance between lead and lag indicators and causal relationships, does not point out whether [7]:

- the vision is wrong;
- the model is not a valid description of the strategy;
- the performance indicators are incorrect.

Linard *et al.* [16] also assert that, in practice, BSC fails in translating companies' strategy into a coherent set of measures and objectives because of the "*lack of a rigorous methodology for selecting the metrics and for establishing the relationship between the metrics and the corporate strategy*".

In consideration of the above mentioned flaws in the BSC approach, it is evident the need of managers for a strategic decision support tool that enables them to cope with dynamically complex systems. Kaplan and Norton explicitly recognized that embodying BSC into SD models might satisfy such a need. In fact, they remarked:

- 1) "*The BSC can be captured in a SD model that provides a comprehensive, quantified model of a business's creation value process*" [6];
- 2) "*Dynamic Systems Simulation would be the ultimate expression of an organization's strategy and the perfect foundation for a Balanced Scorecard*" [17].

The SD approach enables the creation of *interactive learning environments* (ILEs) which can help managers to understand the dynamic relationships between performance variables included in the BSC.

The elicitation of the causal chain between performance drivers and outcomes enhances the managers learning process and, thus, their ability to comprehend how different strategies might affect organization performance.

SD models offer managers a *virtual world* where they can test their hypotheses and evaluate the possible effects of their strategies without bearing the costs and risks of experimenting with them in the real world. They provide *low-cost laboratories for learning* [18], where:

- 1) time and space can be compressed or dilated;
- 2) actions can be repeated under the same or different conditions;
- 3) dangerous, infeasible or unethical strategies can be experimented in safe conditions;
- 4) The information delays of feedbacks from the adopted decision are extremely reduced.

Through simulations *the story of the strategy can be experienced rather than just passively absorbed* [19].

The advantages related to the use of SD modeling to implement the BSC approach have been particularly emphasized by Loomis Ritchie-Dunham [20]. Based on a field research conducted on two telecommunication firms, an SD model was developed by the author to portray BSC indicators. The model was used to conduct a simulation experiment with 118 MBA students, who virtually run the firm for seven simulated years. The scorecard and the enterprise system were varied between subjects in the experiment in order to test the following research hypotheses:

- 1) the number of stakeholders in the scorecard positively influences the number of stakeholders in decision makers' mental models;
- 2) scorecard similarity positively influences mental model similarity;
- 3) information consistency positively influences mental model similarity;
- 4) the number of stakeholders in decision makers' mental model negatively influences total value created;
- 5) mental model similarity positively influences total value created.

Simulation experiments allowed the project team to validate the above hypotheses.

We believe that public utilities can successfully apply the SD approach in the formulation of BSCs for:

- A. assessing company's strategy and vision and their coherences in order to detect potential side effects,
- B. validating the causal map representing company's strategy against reality,
- C. filtering performance measures in order to select the smallest number of proper indicators of company's progress towards strategic goals,
- D. simulating the effect of performance drivers on financial and non-financial outcomes in order to individuate the most opportune policy levers,
- E. Implementing *what if* analysis to learn about potential future scenarios and threats.

The use of simulation results increases the communication power of the BSC, further supporting public utilities in clarifying the strategy to different counterparts, enhancing social actors' cohesion and balancing conflicting goals coherently with company growth sustainability.

In order to demonstrate the above assumptions, the next sections of this paper will show results from an applied research project, which was focused on the creation and use of an SD model supporting a BSC to foster strategic decisions in a public utility company.

IV. AN APPLICATION OF DYNAMIC BALANCED SCORECARD TO PUBLIC UTILITIES: THE CASE OF AMAP

An analysis of a Dynamic Balanced Scorecard (DBSC) application to a municipal water company (Amap) will be developed in the next sections of this paper.

Amap has been running the municipal water provisioning and distribution service for the area of Palermo since 1950.

With the intent to foster public utility efficiency and effectiveness, in the last decade the Italian Government implemented a set of reforms. In particular, in 1994 the management of water resources was reorganised in order to avoid waste and to improve the quality of the service provided to citizens–customers.

Government regulations have been merging the sewer and wastewater treatment management with city water provisioning and distribution management, making all the municipal water service companies handling the so called *integrated water cycle*. In addition to this business re-engineering process, the regulator introduced competition for the management of the water service that led to a privatisation process. In this new scenario, the regulator assigns the water management service for a specific area to the company with the highest effectiveness, in terms of service quality, and with the best efficiency, in terms of service costs.

As a result of the above changes, Amap had to turn from a public agency to a joint stock company. With the aim to increase its competitiveness and to foster a deep cultural change, a research project was started by the authors with Amap managers. A SD simulation model was built in order to support performance measurement and improvement, according to a BSC approach.

By a deep involvement of Amap's key-managers in the modelling process, the research team identified main performance variables and policy levers, and the system structure describing their causal relationships.

In the following sections we will describe the DBSC model building process carried out at Amap, and the related benefits on the strategic decision making process.

A. Implementing the Dynamic Balanced Scorecard at Amap

As previously remarked, Amap perceived the need to improve its performance in terms of both financial outcomes and quality of the service supplied to customers. However, it was lacking a shared vision of the company's mission as well as a coherent strategy for its accomplishment. Furthermore, the communication between the different levels of the organization was almost absent and just a few of the middle managers and line workers were aware of the company's overall performance.

In particular, Amap presented some of the dysfunctional behaviours reported by Linard [21]:

- 1) negative operating incomes were balanced by public contributions, whose volume was depending on the political power of the Board of Directors;
- 2) managers focused on specific tasks and most of them were unaware of how their activity was contributing to company's results;
- 3) the management information system was characterized by the production of a number of reports that were mainly responding to bureaucratic routines, instead of strategic information needs;

- 4) Evaluation programs were perceived as a "weapon", by which managers could be blamed for bad performance, rather than as a tool to enhance managers' efficiency.

In order to create a shared vision of business strategy, to stimulate communication among managers, and to avoid strategy disconnections among the different levels of the organizations, the project team proposed to the Board of Directors a strategy for the implementation of a DBSC. The Board organised a number of meetings with top and middle managers with the purpose to design an information system that could be used to monitor business units' performance. The final result was a long list of activity indicators, included in an about 40-pages long report. Neither a common strategy was designed nor causal linkages were connecting these activity measures.

In order to translate the produced list of indicators into a BSC map, the project team conducted several interviews with Amap's key-managers at different levels of the organisation, in order to elicit their tacit knowledge about internal business processes and causal relationships between available policy levers, performance drivers (lead indicators) and financial and qualitative outcomes (lag indicators).

Based on this initial analysis and on the list of indicators produced by company's managers, a SD model was built to study the effect of planned strategies on company's performance and to select proper measures to be monitored in order to assess company's progress towards the designed strategic goals. After validating the SD model capability to replicate company's past performances, we built a BSC including the selected performance indicators in four key-perspectives according to their causal linkages.

The project lasted 12 months, four of which were devoted to qualitative modelling; six months were needed to build the SD simulation model embodying a BSC, and the remaining two months were allocated to apply the DBSC to the company's planning & control processes.

As it can be read from figure 1, Amap's proposed strategy mainly consisted in improving the company image by higher efficiency and effectiveness in the provision of the water in order to increase its competitiveness for the management of the integrated water service in the area of Palermo. According to managers' mental models, such goal could have been achieved by increasing the availability of the water sources and, hence, the volume of water distributed to households. In fact, an increase in the volume of distributed water would have both improved customer satisfaction and financial results, through higher revenues and lower unit costs (since the overhead costs would have been spread on a larger volume of supplied water). The improvement of customer satisfaction, by a better service, and of shareholder satisfaction, by higher financial results, would have led to enhanced company image.

For this reason, a great deal of efforts was devoted to the search for new sources and to the acquisition of the right to exploit a larger percentage of the existing sources (all the lakes are shared among Amap and other water management companies or hydroelectric companies). With this purpose, Amap was evaluating the opportunity to invest in the construction of a refinement plant for the treatment of wastewater. Basically, in the refinement plant, the sewage collected is subjected to a specific purification process so that it can be used for agricultural purposes. Because of this investment, Amap could have distributed the refined wastewater to farmers, thereby increasing the volume of drinkable water distributed to households.

<Fig. 1 about here>

Furthermore, according to the company management, the refinement of the wastewater would have improved sea pollution conditions. The planned investment, therefore, would have given evidence of the company's commitment for the cleanness of the seashore and, hence, for the improvement of the life quality of the served community. This, in turn, would have further

enhanced the company image and, hence, its advantage on other potential competitors in the management of the integrated water service in the area of Palermo.

Amap also perceived the necessity to improve the quality of pipelines by replacing the existing distribution network that was quite old. The obsolescence of the pipelines determined a high rate of leakage, which sensibly reduced the volume of water distributed to households. This phenomenon on the one hand contributed to customer dissatisfaction, and on the other hand further worsened the efficiency of the distribution process and, hence, company financial results.

From figure 1 the reader can see how the objectives included in the BSC are linked according to the bottom-up approach generally adopted in the implementation of the BSC.

However, as already discussed, such an approach is not sufficient to figure out neither the strategic resources to build, nor the processes through which they will interact to affect company performance.

In Amap, for example, it was clear that the refinement policy would have led to a greater volume of distributed water and to lower sea pollution and, hence, to higher customers and community's satisfaction and, eventually, company image. However, the management was still evaluating the adoption of this policy because of the high investment and production costs, which would have had a negative impact on company financial results, reducing shareholders' satisfaction and, consequently, the image of the company as an efficient administrator of the municipal water service. Therefore, the BSC chart portrayed in fig. 1 only suggested *what* policy lever the management should use, but not *how* and *when* the company should act on these policy levers to balance the conflicting objectives of both shareholders and customers and community.

B. Turning the BSC chart into a causal loop diagram

Since the bottom-up causality depicted in fig. 1 does not take into consideration feedback loops between and within the four perspectives, the project team moved to a more detailed causal loop analysis, which evolved to the diagram depicted in following figure.

<Fig. 2 about here>

The causal loop diagram in figure 2 describes main cause-and-effect relationships between the key-variables of the business system. It shows a number of reinforcing and balancing loops, whose dominance over time, according to different scenarios, is likely to originate different effects in both company lead and lag indicators. Precisely, according to the loop R1, an increase of the refinement percentage would enable the company to distribute more water to households and, hence, to earn higher revenues. An increase in the revenue growth percentage would lead, all other things being equal, to a higher ROI and, consequently, to a rise of available financial resources, to invest in the acquisition of the refinement capacity. Furthermore, the more water distributed to households, the higher the customer satisfaction, the better the company image, and the larger the financial funds the company can obtain for investment in refinement capacity acquisition (loop R2). A good company image, in fact, would allow Amap to get more public funds for the necessary investment both from the local governments and from the banks. Seemingly, the higher the refinement percentage, the better the sea pollution conditions and the company image, and, as a result, the funds Amap can invest in further refinement capacity acquisition (loop R3). Besides, the more water distributed to households, the higher financial results and shareholder satisfaction, the better the company image, and, again, the higher the investment funds the company can attain for the refinement policy (loop R4).

According to the loop R5, the larger the volume of distributed water, the bigger the basis upon which to spread overheads costs and, all other things being equal, the lower the water unit cost. The reduction of the cost per cubic meter of distributed water should increase the company's ROI and the financial results that can be used for the refinement policy.

The loop B1 describes how the increase of the wastewater refinement percentage would determine an increase of the cost per cubic meter of water (because of the additional variable costs of the refinement process). A boost in water unit costs negatively affects the company ROI. This could cause a reduction of the financial resources that would prevent the company from acquiring new refinement capacity. The overall effect of the wastewater refinement on the company performance depends, then, on the difference between the additional costs and revenues produced by this policy.

Furthermore, an increase in the wastewater refinement percentage would determine a higher volume of water distributed to customers. The rise of the volume of pumped water would lead, all other things being equal, to more water distributed per day. However, according to the loop B2, if the volume of pumped water grew faster than the distribution capacity, an increase in *distribution capacity utilization* would occur and, consequently, the *leaking rate* would be higher, negatively impacting on the quantity of water distributed to customers. In fact, the more water Amap pumps through the pipelines, the higher is the pressure, and hence the greater is the volume of leaking through the holes, conjunctions, etc. As a consequence, the cost per cubic meter of water would be higher, reducing the financial results that could be invested in refinement capacity acquisition.

On the basis of this analysis, we can infer that the combined effect of the loops B1 and B2, which could be triggered by the refinement policy, could sensibly reduce the net income and threaten company solidity. In fact, since the cost of the

refinement process would increase the unit costs of the additional water Amap can get from the sources, then the leakage would be more expensive. As a consequence, the revenue from the water sales to households could be not enough to recover all production costs.

The analysis of the above feedback loops with company managers in a group model building context [22] suggested that, in order to counteract the undesirable side effects of the loop B2, the company could have invested in the acquisition of new distribution capacity. In fact, if the increase of the distribution capacity would have been higher than the augment in the volume of pumped water, then a lower distribution capacity utilization would have occurred and, thus, the company could have been able to distribute a higher volume of water (loop R6). Nevertheless, it did not seem reasonable that only an increase in distribution capacity would have been able to reduce the leaking rate.

In fact, also the current distribution pipelines replacement policy was identified as a main determinant of the reference behavior of company's leaking rate. As it is possible to see from figure 3, leakages increased from 1998 to 1999 even though, in this period, the volume of water adducted decreased: the older is a pipeline, the higher leaking will be.

<Fig 3 about here>

Therefore, the company management suggested that, in order to reduce the leaking rate and increase the volume of distributed water, a necessary policy would have also been the replacement of old pipelines, as shown in the loop R7.

The robustness of the proposed policies here summarized was then evaluated through a SD simulation model, based on a BSC, which was developed as a second step of the project, focused on the feedback loop analysis previously described in fig. 2.

C. The Dynamic Balanced Scorecard

Such an approach allowed us to identify as stocks the main strategic resources for the achievement of the company goals and objectives over time, referred to the four different BSC perspectives. The dynamics of the system provided by such resources impacts, on the net of lead indicators, which in turn affect the outcome measures illustrated in fig. 1.

Among relevant strategic resources were identified:

- *capacity*, in terms of both volume water and wastewater that can be processed , and of pipeline network quality,
- *auxiliary workers* that can be involved in maintenance and service suspension tasks,
- *financial resources*, in terms of company liquidity, local government funds and bank debts Amap can invest to implement the designed strategies.

Corresponding in-and-outflows were then identified, to detect and simulate the process through which such resources are subject to change over time, either according to adopted policies or due to external factors (e.g. obsolescence, human resource attrition).

With this purpose, material delays (i.e. the time to replace pipelines, to fix breakdowns, etc.) and information delays (i.e. the time to detect tardy customers and to start the credit collection process) affecting in-and-outflows were calculated based on past data, when existing, or on managers' estimation, when formal data were not available.

As showed in figure 4, the stock-and-flow model was developed around four sectors⁵:

- 1) the *distribution sector*, which analyses the adduction and distribution process of the water and the aging process of pipelines;
- 2) the *sewer sector*, which refers to the collection and refinement of wastewater;
- 3) the *human resources sector*, which describes the allocation of the auxiliary workers between the

⁵ Figure 4 is a simplified representation of the SD model. Equations are available on request from the authors.

maintenance activity and the activity of service suspension to tardy clients;

4) the *financial sector*, where the dynamics of the net income, cash flows and financial resources are analysed.

<Fig. 4 about here>

An ILE was built on the basis the above mentioned sectors, in order to facilitate the use of the simulator. Through the ILE the management can easily:

- input the initial model parameters according to company data;
- insert the company objectives in the different perspectives through a BSC chart;
- experiment different policies under various scenarios through a control panel including the modelled policy-levers and a scenario-setting board;
- valuate company strategy through several tables and graphs reporting the simulated impact of the relative set of policies according to the selected performance indicators.

Figures 5 and 6 show the ILE windows illustrating the BSC objectives, and the control panel through which managers can make decisions and have access to other sections of the simulator to appreciate the effects of their policies over a four years period.

<Fig. 5 about here>

<Fig. 6 about here>

Several tests were implemented to validate the DBSC, such as the replication of Amap's water distribution reference behaviour with regard to the period from 1994 to 1999. A second set of interviews was conducted in order to verify whether the model structure and the simulation results were adequately representing real management processes. With this purpose, a couple of meetings were organized with the Board of Directors and the key-managers involved in the model building

process in order to stimulate a debate over the issues covered by the model and build a common shared view of Amap's system and strategy.

D. Scenario analysis

Once enough confidence was built in the SD model, the ILE was used for what-if analysis and strategy testing under different potential scenarios. The differences between expected and actual results of the simulations stimulated a deep learning process.

An example of simulated scenarios is depicted in fig. 7. Two alternative scenarios are shown: *a*) refinement policy (line 1); *b*) combined refinement and replacement policy (line 2), which implies a shorter pipeline replacement time.

Figure 7 allows decision makers to understand the circular relationships between performance indicators pertaining to the four traditional BSC perspectives. In fact, it matches the static BSC view, previously reported in fig. 1, with the feedback perspective of the system structure underlying experienced results, which was analysed in fig. 2.

In particular, if we refer to the first scenario, from the behaviours reported in fig. 7 we can detect short and long term effects on company image related to a strong refinement policy. Short term effects can be referred to the loop R3 previously shown in fig. 2 (refinement fraction \rightarrow sea pollution conditions index \rightarrow company image index \rightarrow refinement fraction).

In the long run, however, the effects produced by the above reinforcing loop are counterbalanced by the loop B2, which is followed by the loop R7, previously shown in fig. 2. In fact, provided that scenario 1 only implies an investment of available funds in the improvement of refining infrastructures, although a higher refinement fraction could increase the pumped water per day, a lack of investments in pipeline renewal gradually reduces its quality index, which drops the volume of distributed water. This determines a reduction in the customer satisfaction index, which also decreases revenues and ROI. A lower

ROI makes more difficult to make further investments in the refining infrastructure, which will weaken the loop R1 and make the loop B2 dominant.

Furthermore, a lower ROI undermines shareholders satisfaction in the long run, and reduces company image. A lower company image is also likely to make more difficult raising funds to be invested in the replacement of pipelines, which further reduces its quality index and increases the leaking fraction. This reinforces the *death spiral* synthesised in the above said loop R7.

The above simulation results are quite counterintuitive. Although the refining policy gives better outcomes in terms of sea pollution conditions, it is less profitable, if compared to the combined policy. In fact, even if a combined refining and replacement policy is likely to generate lower results in terms of sea pollution, it can give rise to a higher company image. This is because image depends on both environmental and financial performance.

Pursuing a sustainable strategy in the long run, in terms of strong company image, is a major prerequisite for Amap to gain stakeholders' confidence and be competitive in water service management.

<Figure 7 about here>

V. CONCLUSIONS

This paper has tried to demonstrate the usefulness of an approach aimed to match the SD methodology with the BSC framework. The development of ILEs portraying DBSCs can successfully enable managers to better understand cause-and-effect relationships between variables pertaining to the four traditional BSC perspectives.

In particular, the paper has advocated the opportunity to adopt such an approach to strategy design and planning in public utilities, where a deep cultural change and major performance improvement are strongly required.

The case study here described has demonstrated some benefits obtained by an Italian city water

company in using a DBSC to enhance strategy design and planning. In the Amap case, strategic mapping and simulation through the SD methodology has proved to successfully enhance managers learning and capability to identify causal relationships between policy levers and company performance, and better communicate strategy with stakeholders.

REFERENCES

- [1] T.M. Horváth and P. Gábor, "Regulation and Competition in the Local Utility Sector in Central and Eastern Europe", Open Society Institute, "Budapest Local Government and Public Service Reform Initiative (LGI) - Annual Report 2001".
- [2] A. Neely, B. Marr, G. Roos, S. Pike, and O. Gupta, "Towards the Third Generation of Performance Measurement", *Controlling*, Heft 3/4, pp. 129-135, March/April, 2003.
- [3] H. Norreklit, "The balance on the balanced scorecard – a critical analysis of some of its assumptions", *Management Accounting Research*, vol. 11, 2000.
- [4] D. Todd and E. Palmer, "Development and design of a "Dynamic" Balanced Scorecard in local government", in *Proceedings of the European Operations Management Association 8th International Annual Conference*, Bath, United Kingdom, June3-5, 2001.
- [5] R. Kaplan and D. Norton, "The Balanced Scorecard - Measures That Drive Performance", *Harvard Business Review*, 70, 1992.
- [6] R. Kaplan and D. Norton, "Linking the Balanced Scorecard to Strategy", *California Management Review*, vol. 39, nr. 1, 1996.
- [7] R. Kaplan and D. Norton, *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*, Boston: Harvard Business School Press, 1996.
- [8] D. Norton, "Building Strategy Maps: The Importance of Time-Phasing the Strategy", in *Balanced Scorecard: Insight, Experience & Ideas for Strategy Focused organizations*, Harvard Business School Publishing, vol. 3, nr. 2, 2001.
- [9] T. Morisawa, "Building performance measurement systems with the Balanced Scorecard approach", *NRI papers*, n. 45, April, 2002.
- [10] P. Niven, "Cascading the Balanced Scorecard: A Case Study on Nova Scotia Power, Inc.", *Journal of Strategic Performance Measurement*, April/May, 1999.
- [11] F. Zingales and K. Hokerts, "Balanced Scorecard and sustainability: Examples from literature and practice", in *Nachhaltig managen mit der Balanced Scorecard*.

- Konzept und fallstudien*, (english version), S. Schaltegger and T. Dyllick, Eds., Wiesbaden Gabler, 2002, pp. 151-166.
- [12] N. Olve, C. Petri, J. Roy, and S. Roy, “Twelve years later: Understanding and realizing the value of balanced scorecards”, *Ivey Business Journal*, May/June, 2004.
- [13] P. Bracegirdle, “International experience in municipal performance measurement”, presented at the 3rd International Conference on Decentralization, Manila, October, 2003.
- [14] P. Sloper, K. Linard, and D. Paterson, “Towards a Dynamic Feedback Framework for public Sector Performance Management”, presented at the 17th International System Dynamics Conference, 1999.
- [15] K. Linard and L. Dvorsky, “People – Not Human Resources: The System Dynamics of Human Capital Accounting”, presented at the Operations Research Society Conference, University of Bath, UK., Sept, 2001.
- [16] K. Linard, C. Fleming, L. Dvorsky, “System Dynamics as the Link between Corporate Vision and Key Performance Indicators”, presented at the 20th System Dynamics International Conference, Palermo, July, 2002.
- [17] D. Norton, “Is management finally ready for the “systems” approach?”, *Balanced Scorecard Report*, vol. 2, n. 5, pp. 14-15, September-October, 2000.
- [18] J.D. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin McGraw-Hill, 2000, p. 35.
- [19] B. Richmond, “A new language for leveraging scorecard-driven learning”, reprinted from “Balanced Scorecard Report”, *Harvard Business School Publishing*, vol. 3, n. 1, pp. 11-14, 2001.
- [20] J.L. Ritchie-Dunham, “Balanced Scorecards, Mental Models, and Organizational Performance: A Simulation Experiment”, Ph.D. Thesis, University of Texas at Austin, May 2002, downloadable from: <http://www.instituteforstrategicclarity.org/research.htm>.
- [21] K. Linard, “Public Sector Performance Management Now and for the Future”, presented at the *Asia Business Forum – Performance anagement in the Public Sector*, Kuala Lumpa, August, 1996.
- [22] J. Vennix, *Group Model Building : Facilitating Team Learning Using System Dynamics*, Chichester: Wiley, 1996.

Authors

Carmine Bianchi – Full Professor of Business Management, University of Palermo (Italy), Faculty of Political Sciences, Director of CED4-System Dynamics Group.

Giovan Battista Montemaggiore – Doctoral Student in Business Management, University of Palermo (Italy), Faculty of Political Sciences, CED4-System Dynamics Group, Master Phil. in System Dynamics, University of Bergen (Norway).

ANEXO.

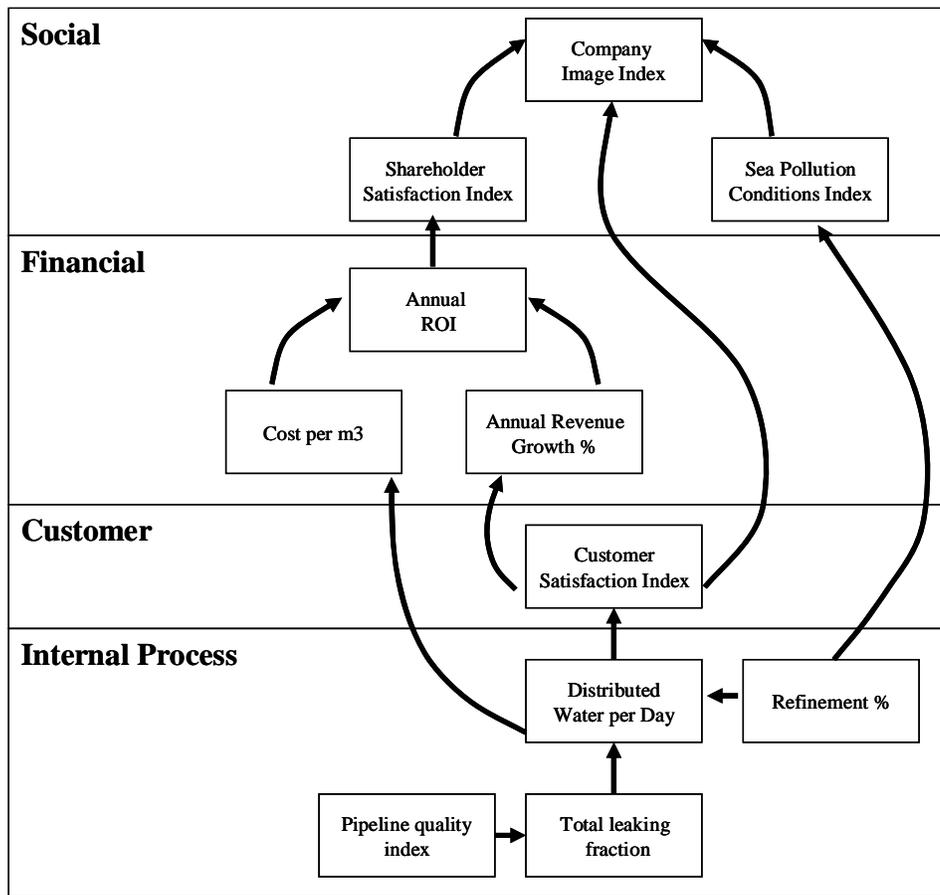


Fig. 1: Amap's BSC cause-and-effect chart

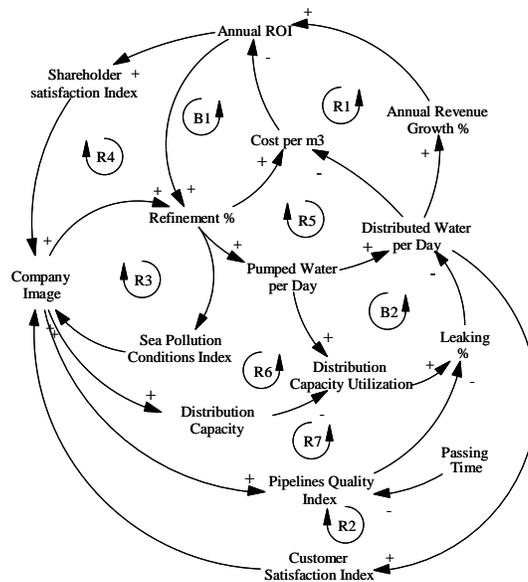


Fig. 2: Amap's BSC causal loop diagram

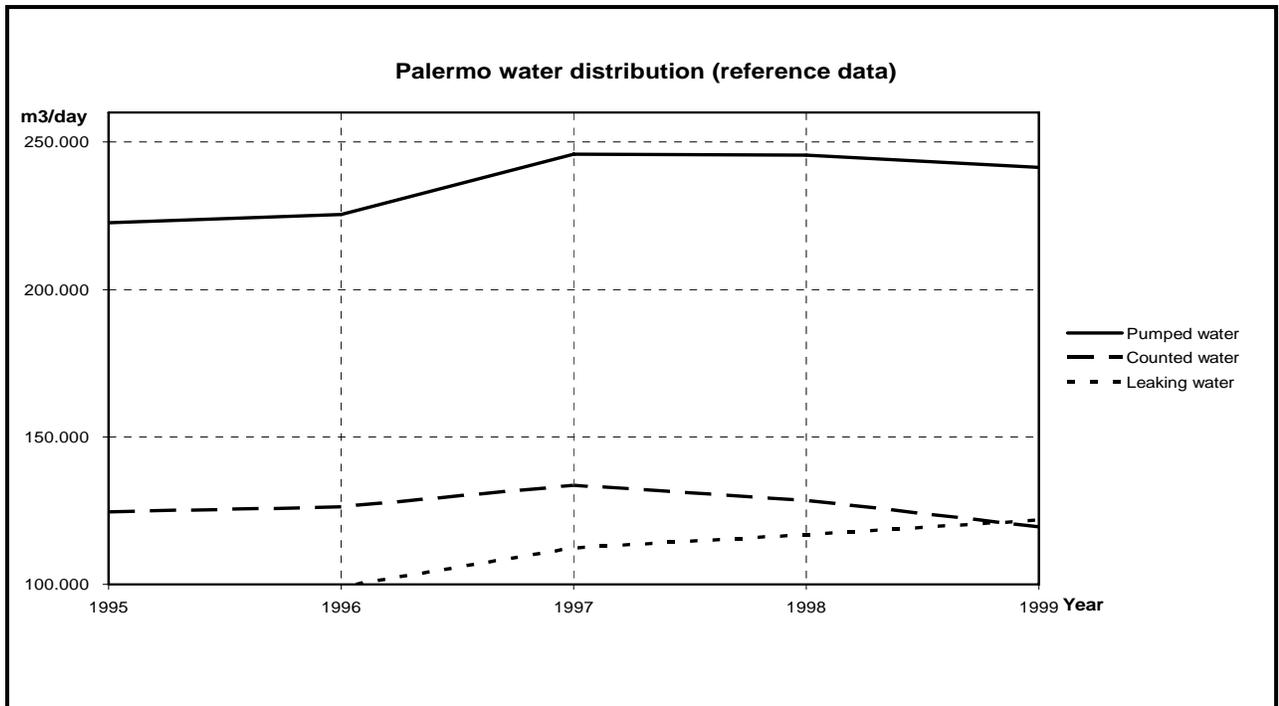


Fig. 3: Amap's water distribution reference behaviour

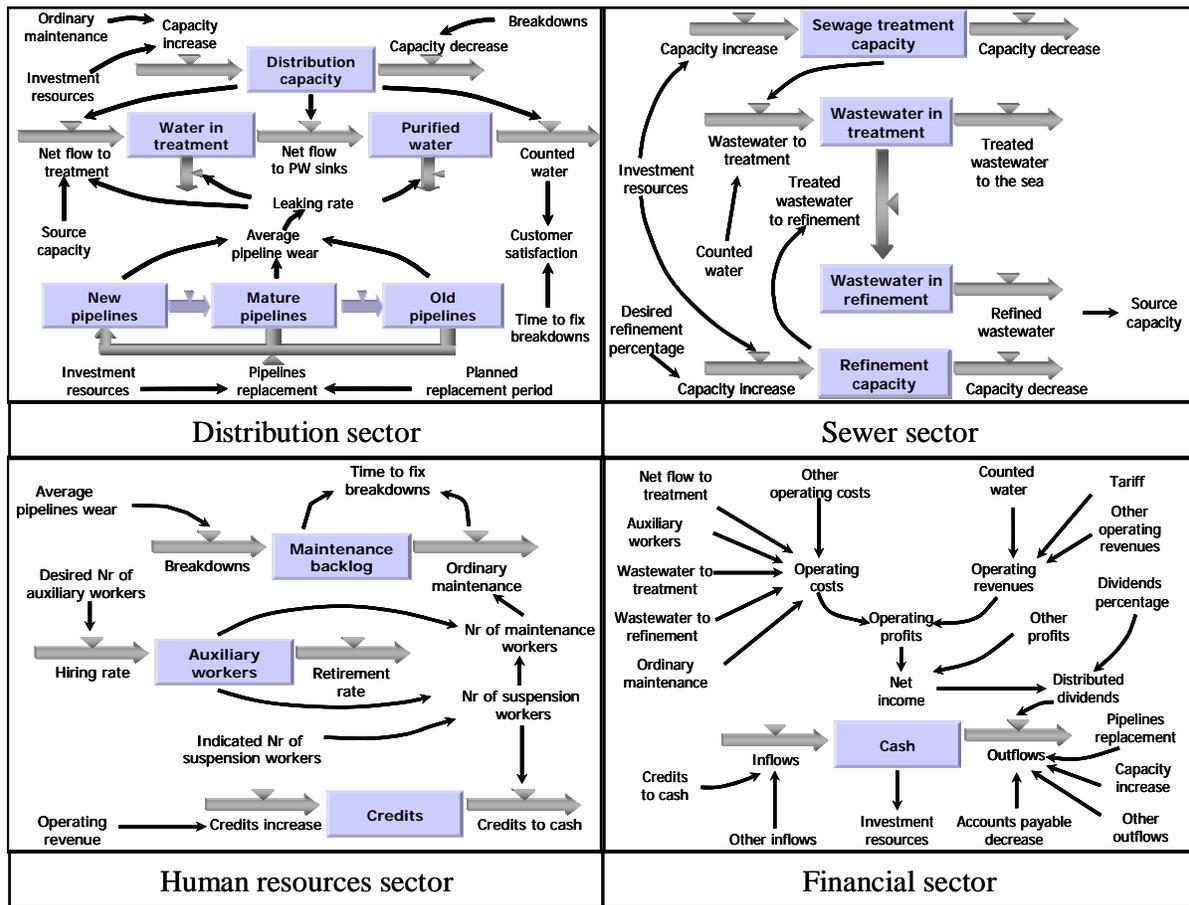


Fig. 4: The four sectors of Amap's simulation model

Perspectives	Objectives	Measures	Targets	Current Situation	Initiatives
Learning & Growth	Improve Company Image through a higher satisfaction of shareholders and local government, and through a better life quality of the served community.	Company Image Index	1,00	0,61	- Keep a satisfying flow of dividends to shareholders. - Invest in wastewater refinement plants.
		Shareholder Satisfaction	1,00	0,96	
		Service Quality Index	1,00	0,59	
		Sea Pollution Conditions Index	1,00	0,30	
Financial	Improve profitability through cost reduction and revenue growth.	DSO	60	194	- Intensify controls on tardy customers. - Intensify exploitation of internal financial opportunities (dividends and credits collection).
		Tardy Customers %	0,00	0,36	
		Annual ROI	0,07	0,00	
		Cost per m ³	0,70	0,79	
		Annual Revenue Growth %	0,10	0,00	
Customer	- Increase customer punctuality. - Increase customer satisfaction through service level, response time to	Customer Satisfaction Index	1,00	0,59	- Intensify controls on service quality features.
		Demand Fulfillment %	1,00	0,51	
		Service Reduction %	0,00	0,00	
		Days to Fix Breakdowns	1,00	1,00	
Internal Process	- Improve suspension process efficacy. - Increase water provision through refinement. - Reduce leakage. - Reduction of pipeline breakdowns through better auxiliary workers allocation and wear conditions	Days to Suspend Service	60	1302	- Shorten pipeline replacement period. - Invest in wastewater refinement plants. - Allocate effectively auxiliary human resources.
		Leaking %	0,20	0,44	
		Pumped Water per Day	245.000	223.381	
		Refinement %	1,00	0,00	
		Pipeline Repair Percentage	1,00	1,00	
		Pipeline Quality Index	1,00	0,50	

Fig. 5: The DBSC charts to input objectives

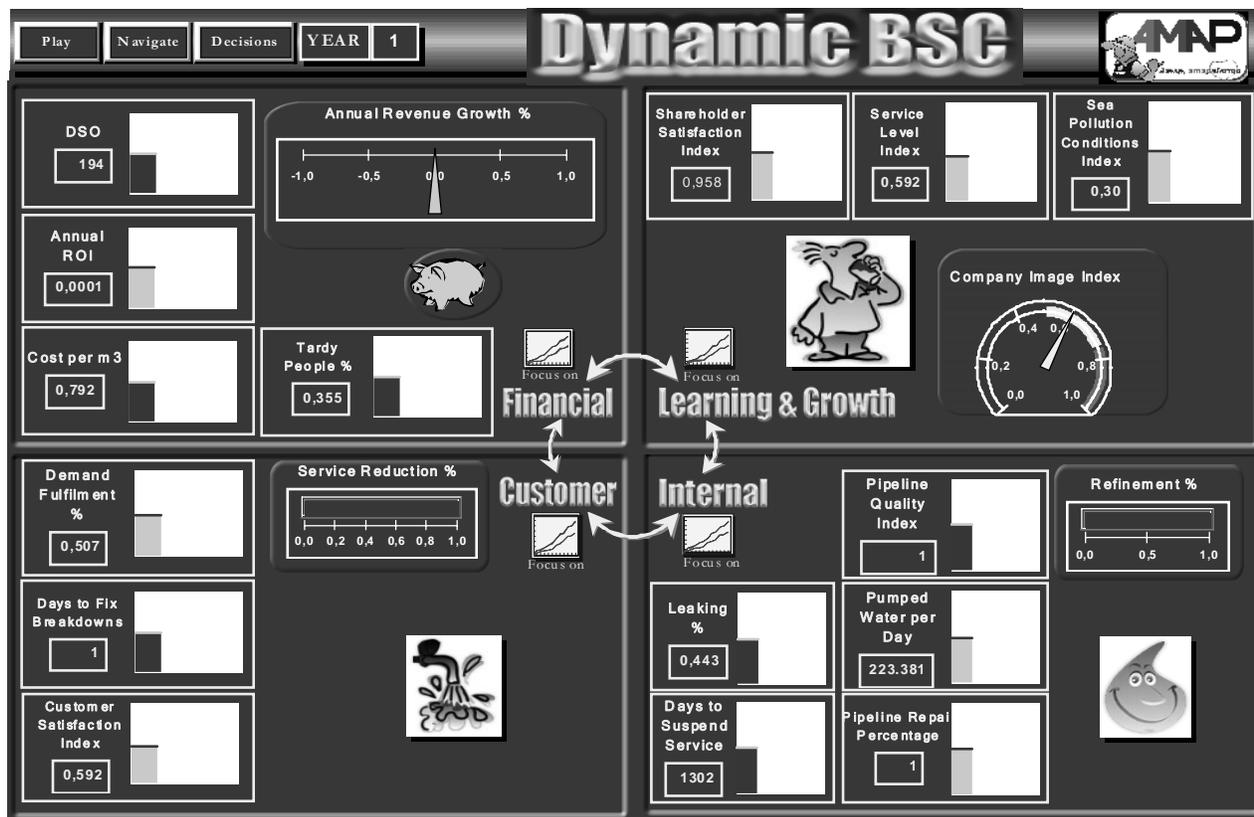


Fig. 6: The DBSC control panel to test strategy

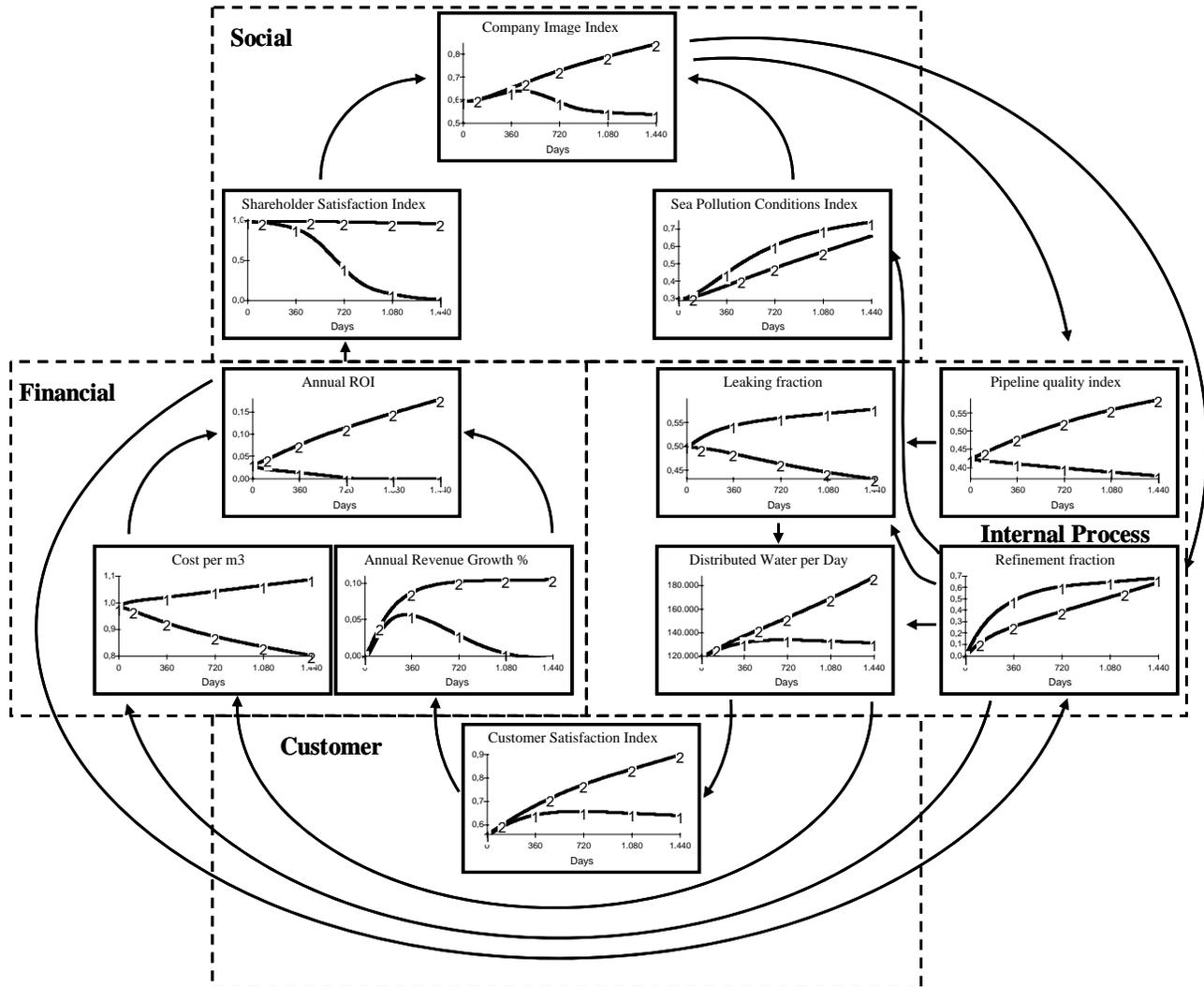


Fig. 7: Amap's strategy simulation results included in the DBSC casual loop diagram

Juego de Simulación para el Mejoramiento del Proceso de Toma de Decisiones en la Regulación de los Recursos Comunes

Parra Valencia, Jorge Andrick., Mayorga, Adriana y Martínez, José
 {japarra, amayorga, jmartinc}@unab.edu.co
 Escuela de Ciencias Naturales e Ingeniería
 Universidad Autónoma de Bucaramanga

Resumen— Colombia es un país rico en recursos naturales, que está obligado por su Constitución Política y por tratados internacionales a preservarlos, mantenerlos y distribuirlos equitativamente. Sin embargo, las políticas que dicen perseguir dichos propósitos no han producido los resultados esperados. Al contrario, día a día es más evidente la depredación de dichos recursos naturales, que se manifiesta e influye en otros problemas sociales, ecológicos, económicos, entre otros.

Dicha problemática puede ser abordada desde distintas perspectivas y áreas del quehacer científico y tecnológico, como: Dinámica de sistemas, Ciencias políticas, Bioeconomía, Ingeniería Ambiental, entre otras. Desde la Dinámica de Sistemas, distingue el grupo investigador, como sustrato fundamental de dicha problemática, tanto el bajo desarrollo de las formas básicas de pensamiento sistémico en el sujeto que conoce un fenómeno complejo, como la complejidad del proceso de toma de decisiones. Además, desde las Ciencias Políticas se aborda dicha problemática a través de la teoría de regulación de recursos comunes implementados alrededor de la asignación, distribución y conservación de los mismos.

En este marco, este trabajo propone el diseño, desarrollo, evaluación e implementación de un juego de simulación dinámico sistémico, basado en una estrategia de mitigación de la depredación desde el mejoramiento del desempeño de los actores en el proceso de toma de decisiones, que integre el desarrollo de las formas de pensamiento básicas en la toma de decisiones (Pensamiento Genérico, Pensamiento Operacional y Pensamiento Cíclico)¹, simultáneamente con los mecanismos de regulación de los recursos comunes (El control del Estado, La privatización y La Autogestión)².

Índice de Términos—Dinámica de Sistemas, Juego de Simulación, Toma de Decisiones, Proceso de Toma de Decisiones, Regulación de Recursos Comunes

I. INTRODUCCIÓN

La problemática abordada por este artículo se estructura desde seis supuestos que hacen plausible generar herramientas informáticas de simulación en el ámbito de un diseño educativo, para mejorar la toma de decisiones alrededor de la regulación de los recursos comunes. Como se muestra en la Fig. 1, de la siguiente manera: si Colombia es un país rico en recursos comunes, y si Colombia está obligado a cuidar, preservar y mantener sus recursos comunes, en consecuencia, se esperaría que Colombia mantuviera y distribuyera equitativamente sus recursos comunes; sin embargo, las estadísticas realizadas por distintos estamentos, como el Instituto Humboldt [1], demuestran que, paradójicamente a las dos premisas anteriores, Colombia depreda sus recursos comunes. Este proyecto de grado propone como hipótesis que la integración del desarrollo de las formas de pensamiento sistémico crítico fundamentales para la toma de decisiones y los mecanismos de regulación, a través de un juego de simulación, son una alternativa para paliar la depredación que se presenta en el proceso de regulación de los recursos comunes.

Esta hipótesis se inscribe en un área de investigación que comprende tanto a la Dinámica de sistemas, como la Toma de Decisiones y los Mecanismos de Regulación, las Ciencias Políticas así como la relación entre los mismos.

En el área se ubican un conjunto de trabajos realizados en un marco de investigaciones desde las actividades expuestas por la Dinámica de Sistemas, y entre las cuales sobresalen las guías de aprendizaje propuestas por Jay W. Forrester, que

¹ Formas de Pensamiento Sistémico Crítico propuestas por Barry Richmond.

² Teoría de la Regulación de los recursos comunes propuesta por Elinor Ostrom.

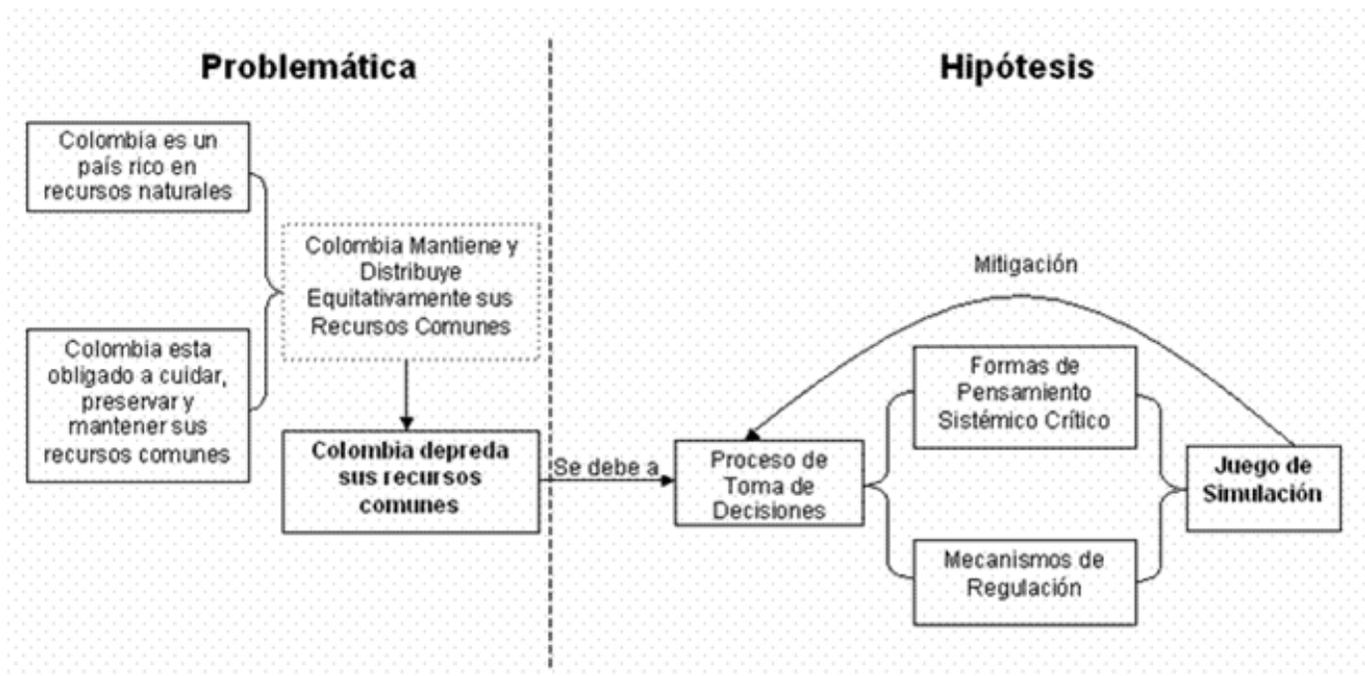


Fig. 1. Estructura Planteamiento del Problema

introducen y relacionan al lector con los principios y conceptos relevantes de esta disciplina [2], Barry Richmond con las formas de pensamiento sistémico crítico coherentes con la misma [3], entre otros autores como John Sterman [4], Morecorft [5], que definen nuevas iniciativas que asumen la importancia de las mismas para el mejoramiento en el proceso de toma de decisiones.

A. Colombia es un país rico en recursos naturales

Colombia es un país con 33.109.840 habitantes³, con una superficie total de 2.070.408 km², de los que 1.141.748 son tierras emergidas y 928.660 corresponden a sus áreas marítimas, que a su vez corresponden al 0.77% de las áreas continentales, y con una riqueza en recursos naturales que se estima en el 10% de fauna y flora del planeta, además de innumerables riquezas culturales. Según el Instituto Humboldt, es el segundo país más rico en especies del mundo, posee entre 45.000 y 55.000 especies de plantas y 2890 especies de vertebrados terrestres,

entre los que se destacan las aves y los reptiles.

B. Colombia esta obligado a cuidar, preservar y mantener sus recursos comunes

La legislación colombiana ambiental ha tenido un desarrollo significativo a partir de la Convención de Estocolmo de 1972, gracias a la cual se creó el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, Decreto Ley 2811 de 1974.

En relación con la distribución de los recursos la Constitución Política de Colombia de 1991 establece que el estado está obligado a preservar, mantener y distribuir equitativamente los mismos, como se estipula explícitamente, entre otros, en los siguientes artículos [6]:

Artículo 79. “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que

³ Instituto Geográfico Agustín Codazzi, censo de 1993

puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.”.

Artículo 80. “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.”.

C. Colombia depreda sus recursos naturales

A pesar de las políticas implementadas para mitigar la depredación de los recursos naturales colombianos, día a día se evidencia su deterioro. Por ejemplo, según el Instituto Humboldt, las zonas de páramos vienen sufriendo serios procesos de transformación y degradación debido a la ocurrencia de fenómenos naturales, y especialmente a los producidos por el hombre, de los cuales se destacan: el uso inadecuado y explotación irracional de sus recursos hídricos, bióticos y físicos por efectos colaterales de la actividad minera, los cultivos ilícitos, la ganadería extensiva, la deforestación por empleo de la madera como leña para combustible y cercas vivas, el techado de casas de campo y el alimento del ganado, y la sobre explotación en exceso de recursos hídricos, que se ve manifestado en problemas sociales, ecológicos, económicos, entre otros.

La problemática es tal que las estadísticas señalan que desde 1911 hasta nuestros días han desaparecido miles de especies y otras tantas se encuentran en peligro de extinción. Además, se ha calculado que debido a la deforestación y a la alteración de los hábitat naturales, hoy en día entre 0.2 y 0.3 % de las especies se extingue cada año; es decir, cerca de una (1) de cada cuatrocientas (400).

En general, esta esto nos demuestra las drásticas y nefastas manifestaciones de la depredación que ha sufrido nuestro ecosistema en los últimos años. Se considera que se ha perdido un poco más de la mitad de la cobertura boscosa y casi la totalidad de las formaciones de bosque seco tropical y subandino. La mayoría de los ríos del país se

encuentran contaminados, en especial las corrientes de aguas andinas. La pesca y la caza también han desaparecido casi en su totalidad. El diez por ciento (10%) de los suelos presenta erosión y el cuarenta y cinco por ciento (45%) están dedicados a fines distintos de la vocación. La calidad del aire ha desmejorado radicalmente durante las dos últimas décadas en las principales ciudades, a tal punto que hoy Bogotá es la tercera ciudad más contaminada en América Latina. [7]

D. Pregunta de Investigación

La pregunta de investigación que aborda este proyecto se plantea de la siguiente forma: ¿Cómo y qué tanto puede un juego de simulación basado en tres formas de pensamiento sistémico crítico fundamentales (Genérico, Cíclico y Operacional) y los mecanismos de regulación (El Estado, La Privatización y la Autorregulación), revertir la tendencia a la depredación de los recursos comunes, desde el proceso de toma de decisiones alrededor de los mismos?

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, implementar y evaluar un prototipo de juego de simulación, que basado en una estrategia de mejoramiento del proceso de toma de decisiones en la asignación de recursos comunes, integre el desarrollo de tres formas de pensamiento sistémico (Pensamiento Genérico, Pensamiento Operacional y Pensamiento Cíclico) y los tres mecanismos de regulación de recursos comunes clásicos (El control del Estado, La privatización y La Autogestión).

B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Proponer un diseño educativo en base a la integración del modelo educativo propuesto desde la Dinámica de Sistemas y en coherencia con los principios de la Teoría de Regulación de Recursos de Uso Común de Ostrom.
- 2) Definir en coherencia con el diseño educativo propuesto, una estrategia de mitigación alrededor del proceso de toma de decisiones que

integre el desarrollo de tres formas de pensamiento sistémico (Pensamiento Genérico, Pensamiento Operacional y Pensamiento Cíclico) y los tres mecanismos de regulación de recursos comunes clásicos (El control del Estado, La privatización y La Autogestión).

3) Evaluar los modelos precedentes alrededor de la dinámica de la regulación de los recursos comunes⁴, y en base a estos si es pertinente, replantear y redefinir dichos modelos para que representen cada uno de los mecanismos de regulación y su estrategia en la aplicación de un recurso común específico.

4) Implementar un prototipo de juego de simulación que recree la estrategia de mitigación planteada en el diseño educativo, en base a las tres formas de pensamiento sistémico crítico fundamentales para la toma de decisiones y los mecanismos de regulación de los recursos comunes.

5) Evaluar, en una primera instancia, el efecto de la estrategia de mitigación de la depredación alrededor del proceso de toma de decisiones en un caso de regulación de un recurso de uso común, con base en el diseño educativo propuesto e implementado en el juego de simulación desarrollado.

III. ANTECEDENTES

Esta problemática hace parte de los temas de investigación y proyectos en desarrollo del Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, entre estos, el referente a el proyecto “*Juegos de Simulación sobre Distribución Equitativa de Recursos Naturales*”, que busca ganar comprensión sobre las situaciones de distribución de recursos públicos en el país. Paralelo a esto, actualmente se esta desarrollando un proyecto de investigación para optar al título de maestría en informática, titulado

⁴. Dichos modelos fueron elaborados del proyecto de grado: “*Evaluación inámico Sistémica De La Teoría De Regulación De Comunes Como Explicación De Su Depredación En Colombia*”

“*Micromundos para apoyar los procesos de cambio y de toma de decisiones organizacionales. Un caso de estudio con Dinámica de Sistemas*”

desarrollado por la docente Lilia Nayibe Gelvez Pinto, el cual busca identificar las experiencias de diseño y uso de micromundos en la gestión universitaria. Igualmente, se están desarrollando varios proyectos de grado que giran entorno a esta problemática: “*Modelamiento y Simulación de los efectos del Comercio Internacional en la Regulación de Recursos Comunes*” y “*Evaluación Dinámico Sistémica de la teoría de Regulación de Comunes como Explicación de su Depredación en Colombia*”, los cuales ofrecen un primer avance acerca de los modelos dinámico-sistémicos que representan la dinámica de la regulación de los recursos naturales.

Así mismo, en la comunidad internacional de Dinámica de Sistemas se ha venido trabajando en dicha problemática desde los trabajos de Jay W. Forrester, Erling Moxnes, John Sterman, entre otros.

IV. ESTADO DEL ARTE FORMAS DE PENSAMIENTO Y TOMA DE DECISIONES

La Fig. 2 que sintetiza el estado del arte, estructura los trabajos que se han realizado alrededor de temáticas esenciales para este artículo, como: Dinámica de Sistemas, Procesos de toma de Decisiones, Formas de Pensamiento Sistémico, entre otros.

Los artículos introductorios a la Dinámica de Sistemas y las guías de aprendizaje de la misma, como: “*La Dinámica de Sistemas y el Aprendizaje del Alumno en la educación escolar*”, entre otros, de Forrester, quien hace un llamado al uso de esta disciplina de la Dinámica de Sistemas en la educación.

Posteriormente, trabajos de investigación evalúan el proceso de toma de decisiones, como los realizados por: Erling Moxnes quien realiza dicha evaluación mediante experimentos en donde se explotan recursos naturales comunes; Andreas GroBsler, quien propone una taxonomía de simuladores computarizados considerados esenciales en el

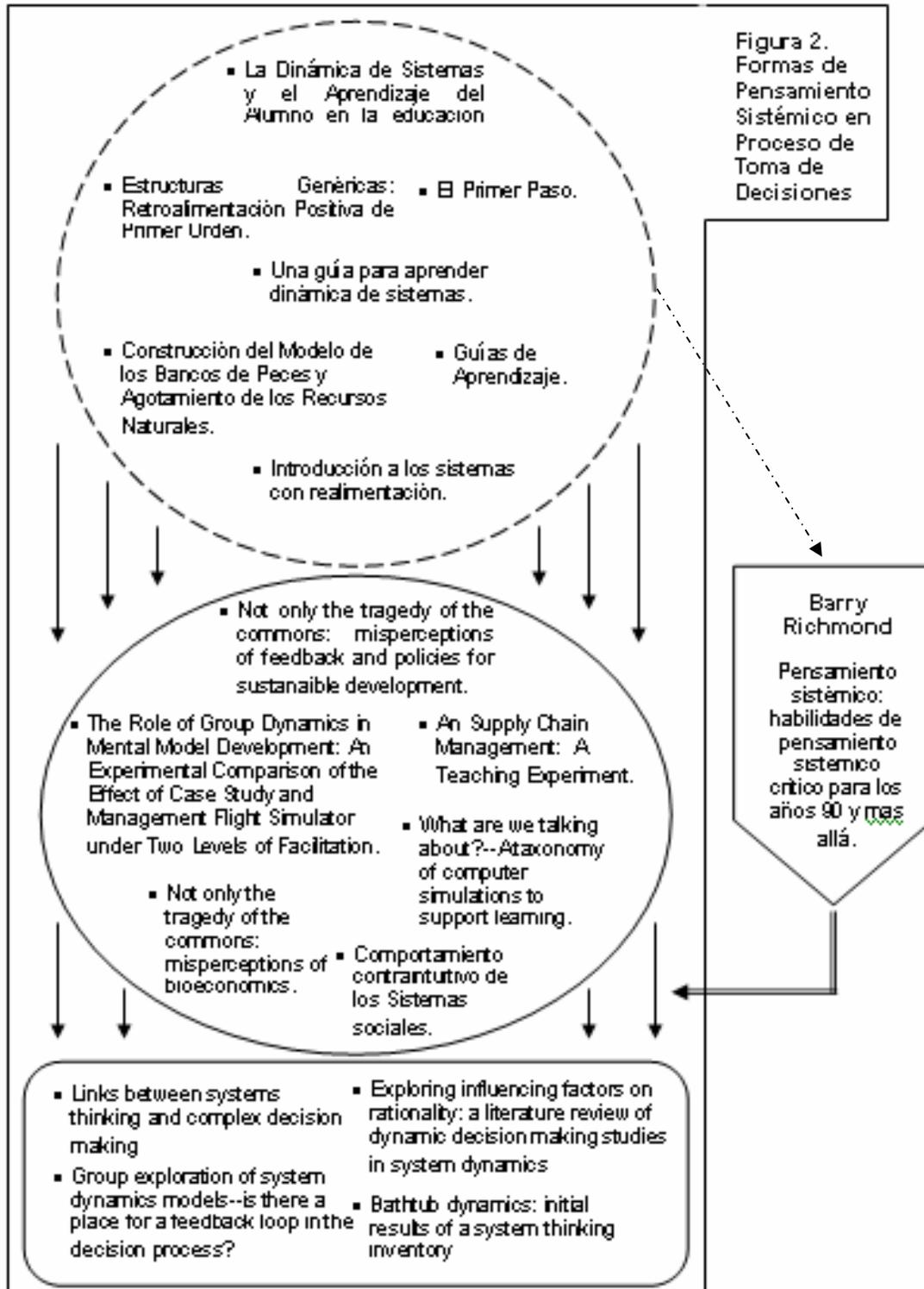


Fig. 2. Formas de Pensamiento Sistémico en el Proceso de Toma de Decisiones

Desarrolla de nuevas habilidades para la toma de decisiones; entre otros.

Posterior al trabajo propuesto por Barry Richmond: “Pensamiento sistémico: habilidades de pensamiento sistémico crítico para los años 90 y mas allá”, aparecieron nuevos investigadores como: Kamiz Maani, Vandana Maharaj, John D. Sterman, entre otros, quienes integran las siete formas de pensamiento sistémico de Richmond, la dinámica de sistemas y el proceso de Toma de Decisiones.

V. MARCO CONCEPTUAL

A. Formas de Pensamiento Sistémico Crítico

El pensamiento dinámico sistémico se ha considerado pertinente para abordar la complejidad del mundo de hoy. Esto ha generado estudios que han partido del supuesto de que existen ciertas formas de pensamiento sistémico crítico fundamentales para mejorar la toma de decisiones dentro de los mismos.

En el levantamiento del estado del arte realizado, se ubican estudios en donde se ha experimentado con las siete formas de pensamiento sistémico crítico que se muestran en la tabla 1, en diferentes escenarios obteniendo ponderaciones que clasifican las formas de pensamiento sistémico crítico de acuerdo a su importancia dentro de la toma de decisiones. Gracias a esto, en la teoría se encuentra que el pensamiento cíclico, genérico y operacional, se relacionan más con la toma de decisiones, debido a que contribuyen a la comprensión de la estructura de un sistema complejo y dinámico. Es precisamente, ese mayor entendimiento de la estructura la que permite tomar decisiones más acertadas dentro de los diferentes sistemas [8].

Estructural (PE)	estructura del fenómeno: reconoce la causalidad entre los diversos elementos de un fenómeno. Identifica ciclos causales simples.
Pensamiento Genérico (PG)	Identifica similitudes y analogías entre fenómenos de naturaleza diferente (isomorfismos). Usa ejemplos causales. Se requiere de PE y PD.
Pensamiento Operacional (PO)	Propone cómo trabajan realmente las cosas y no cómo teóricamente lo hacen. Se prueban modelos causales en la computadora. De la mano con PE.
Pensamiento Cíclico (PCI)	Identifica la relación entre estructura del modelo y el comportamiento observado en el fenómeno. Explica modelos de sistemas. Va de la mano con el PD y PE.
Pensamiento Continuo (PCO)	Aprecia y explica los fenómenos como resultado de interdependencias continuas y no como hechos aislados. Se diseñan y construyen modelos, se manipulan micromundo basados en modelos de simulación.
Pensamiento Científico (PC)	Cuantifica variables, propone y evalúa hipótesis. Se manipulan modelos preconstruidos y se prueban modelos propios.

Tabla I. Formas de Pensamiento Sistémico Crítico. [3]

FORMA DE PENSAMIENTO	CARACTERISTICAS Y ACCIONES PARA SU DESARROLLO
Pensamiento Dinámico (PD)	Identifica patrones de comportamiento y los procesos cíclicos que lo sustentan. Se asocian ciclos causales con su comportamiento.
Pensamiento	Se concentra en la

B. Mecanismos de Regulación [9]

Coherente con lo expuesto por Ostrom, según lo cual la regulación de recursos comunes mejora cuando se tiene un mejor conocimiento de la estructura del sistema, lo que justifica la cooperación de los agentes como estrategia fundamental de la propuesta de autogestión y justifica que parte de las estrategia a desarrollar en

este trabajo sea “experimentar” con las distintas estructuras de regulación de comunes como táctica para mitigar su depredación desde el proceso de toma de decisiones.

A raíz del comportamiento depredador del hombre, se hace necesario diseñar formas de intervención que contribuyan a administrar de forma coordinada la explotación de los recursos comunes. La regulación por parte del estado, la privatización y la autorregulación por parte de la comunidad involucrada, son los mecanismos de regulación descritos para la gestión de los mencionados recursos.

1) *Regulación por parte del estado*

El estado participa como un ente interventor que por medio de la implementación de leyes, normas y reglas, busca coordinar acciones que conduzcan a regular y controlar el recurso. Para que esta estrategia funcione, debe existir un alto grado de responsabilidad por parte del estado (principales) y aquellas personas cercanas al recurso (agentes), para evitar situaciones que describan un comportamiento oportunista, que con lleve al beneficio individual. Por esta razón, Przeworsky (1996) expone tres tipos de relaciones entre principales y agentes: regulación, vigilancia, y responsabilidad.

2) *La Privatización*

Este mecanismo propone la división del recurso en partes iguales, con el fin de enfrentar al hombre con la dinámica del recurso y el efecto de sus decisiones, y de esta manera evitar la tragedia del terreno común. En consecuencia, este mecanismo se relaciona con la teoría económica conocida con el nombre de la “mano invisible”. [10]

Sin embargo, dicha teoría se torna poco aplicable en la administración de los recursos comunes, a causa de la difícil cuantificación y distribución de los mismos, y la vigilancia por el respeto de la propiedad privada.

3) *Autorregulación de la comunidad*

La solución que plantea este mecanismo de regulación pretende imponer un ambiente conciliador en el que el dialogo entre los partícipes de la explotación del recurso, permita mejorar la utilización del mismo, por medio de la construcción conjunta de reglas y políticas dinámicas, que aprueben controlar la explotación del recurso sin necesidad de la intervención de un tercero.

Esta comprobado que este mecanismo requiere de un compromiso sólido entre los individuos que explotarán el recurso. Para que la estrategia propuesta por este mecanismo reduzca la depredación es fundamental que el entorno posea unas reglas que favorezcan tanto la cooperación cómo colaboración entre los entes partícipes del proceso de utilización del recurso, además, la responsabilidad, la confianza y el respeto por los acuerdos implantados juegan un papel primordial en este mecanismo de regulación. Juan Camilo Cárdenas ha demostrado con sus estudios que sí existe una cooperación verdadera entre los explotadores del recurso, se estaría generando un eficiente mecanismo de regulación [11].

C. Relación entre las Formas de Pensamiento y la Toma de Decisiones

La relación entre las formas de pensamiento y la toma de decisiones, es un tema que aún no ha contestado todas las posibles preguntas que surgen al mencionar dicho vínculo, pero gracias al trabajo realizado por Kambiz y Vandana, quienes por medio de la aplicación de las formas de pensamiento crítico propuestas por Richmond en un Micromundo, consiguieron comprobar que estas formas sí influyen positivamente en la toma de decisiones de las personas, entes que comprendieron que construir un modelo mental que tenga una visión holística del mundo y las interconexiones de sus componentes, contribuye a mejorar el proceso de toma de decisiones. Este estudio concluyó que el pensamiento genérico, operacional y cíclico, son los más relevantes en la toma de decisiones de sistemas complejos y que por tanto, los sujetos que desarrollen más estas formas de pensamiento podrán tomar mejores decisiones y

crear patrones de comportamiento que afecten de manera positiva al sistema [8].

D. Juegos de Simulación

Son herramientas modernas que implementan técnicas de enseñanza-aprendizaje en diversos contextos de nuestro mundo. La utilización de juegos de simulación data de la segunda guerra mundial. Los cuales fueron desarrollados para su aplicación en la enseñanza de la administración en la gestión empresarial. En 1956 se diseñó por el American Management Association una aplicación denominada “Top Management Decision Simulation”. En los años setenta, se realizaron diferentes cursos de introducción a la economía con “El juego de la Isla” del psicólogo Claude Zerbib y “Eco Firme” del profesor Jean-Marie Albertini, un juego de roles donde cada participante representa por turnos a funcionarios, empresarios y padres de familia.

Los juegos de simulación desarrollan ambientes computarizados de situaciones reales para los jugadores, quienes al interactuar con la aplicación tienen la oportunidad de desarrollar y practicar sus nuevas aptitudes. Este tipo de aplicaciones permiten el adiestramiento del personal de la organización [12].

Los juegos de simulación contribuyen a comprender cada una de las interrelaciones que existen entre las variables claves del entorno. Igualmente permite desarrollar las habilidades del usuario para el trabajo en equipo, ya que concibe la ejecución de actividades grupales que permiten el estudio del rendimiento de los posibles roles que pueda participar [13].

VI. METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación se basa en la Metodología de Ingeniería de Sistemas de Arthur D. Hall que consiste en seis fases que son: Definición del problema (*definición de la necesidad*), Elección de los Objetivos (*una definición de las necesidades físicas y del sistema de valor dentro del cual ellos deben confrontar*), Síntesis del Sistema (*Creación de sistemas alternativos posibles*), Análisis de Sistemas (*Análisis de los sistemas alternativos a la*

luz de los objetivos propuestos), Desarrollo del Sistema (*Hasta el estadio de prototipo*) e Ingeniería en Curso (*Evaluación, monitoreo, modificación y realimentación de información al diseño*), desarrollada desde la Ingeniería de Sistemas Clásica. [14]

El desarrollo de esta investigación consta de ocho (8) actividades que son: revisión de la literatura, definición de la problemática, conceptualización de la problemática, Definición y Formulación del Proyecto Educativo, Revisión y reestructuración de los modelos de Regulación, Desarrollo prototipo Juego de Simulación, Evaluación y Documentación y Publicaciones. A continuación se describirán cada una de ellas con los productos a alcanzar:

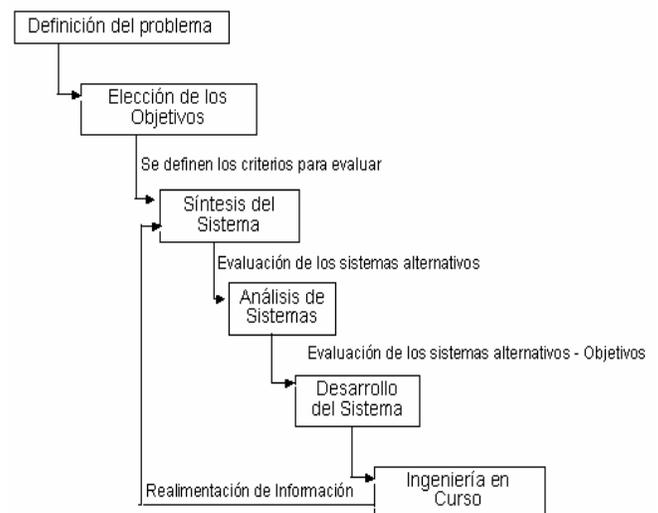


Fig. 3. Diagrama Metodología Arthur D. Hall

La primera actividad, revisión de la literatura, consistió en la indagación acerca de las publicaciones, libros, tesis y autores que tratan acerca de temáticas relacionadas con recursos comunes, aplicaciones dinámica de sistemas, juegos de simulación, regulación de recursos comunes, entre otros.

La definición de la problemática, segunda actividad, consistió en delimitar el área de acción y aplicación que trabaja este proyecto de grado, así como los aportes que se espera que realice.

La tercera actividad fue la indagación de los conceptos principales que involucra la definición de

la problemática y las hipótesis que se generan alrededor de la misma, como base teórica en la construcción de los mecanismos de resolución que se plantean para la problemática.

La cuarta actividad involucra la realización de un modelo educativo alrededor de la dinámica de sistemas que sustente sus principios y supuestos, igualmente, un modelo educativo que refleje la dinámica planteada en los mecanismos de regulación de los recursos comunes. Los cuales se integren en un diseño educativo que sustente tanto las teorías dinámico-sistémicas alrededor de las formas de pensamiento y toma de decisiones así como el desarrollo de los diferentes mecanismos de regulación.

La quinta actividad se relaciona con la revisión y evaluación de los modelos dinámico sistémicos desarrollados en el proyecto de grado: *Evaluación Dinámico Sistémica De La Teoría De Regulación De Comunes Como Explicación De Su Depredación En Colombia*. Los cuales serán redefinidos y reestructurados acorde con la problemática y solución abordada en este proyecto de grado.

La sexta actividad consiste en el desarrollo del prototipo de juego de simulación, a través del cual se recreará la dinámica de depredación de un recurso común específico en donde se experimentarán los tres mecanismos de regulación y a su vez, actividades que impliquen el desarrollo de las tres formas de pensamiento sistémico crítico más importante para la toma de decisiones.

Dicho juego de simulación se basará en el proceso de desarrollo de software Proceso Unificado Racional (Rational Unified Process, RUP), el cual es una forma disciplinada de asignar tareas y responsabilidades en una empresa de desarrollo (quién hace qué, cuándo y cómo). Además, de ser una guía para usar UML de una forma efectiva. Así mismo, cuenta con herramientas de apoyo para todo el proceso, como: Modelamiento visual, Programación y Pruebas. RUP pretende implementar las mejores prácticas actuales en ingeniería de software, como son [15]:

- Desarrollo iterativo del software
- Administración de requerimientos
- Uso de arquitecturas basadas en componentes
- Modelamiento visual del software
- Verificación de la calidad del software
- Control de cambios

La séptima actividad consiste en un primer intento de evaluación, en el cual se van a definir unos indicadores de proyecto, en base a los cuales se hará un diseño de evaluación que posteriormente será aplicado para medir la efectividad del proceso de aprendizaje, entorno a la toma de decisiones de un recurso común y las repercusiones de las formas de pensamiento y/o mecanismos de regulación en la mitigación de la situación problemática planteada. Además, se espera que el juego de simulación sea probado en el curso de Gobernabilidad y Gerencia Política: encuentros para la acción, que ofrece conjuntamente la Corporación Andina de Fomento (CAF) en convenio con la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB) en la ciudad de Bucaramanga, que busca fortalecer y mejorar la capacidad de las instituciones para gerenciar y tomar decisiones, cualificando a los participantes en la formación de habilidades relacionadas con la gerencia política, técnico-financiera y social. Así mismo, se espera implementar dicho juego en la materia de pregrado Dinámica de Sistemas que ofrece la facultad de Ingeniería de Sistemas.

Finalmente, la octava actividad es la publicación de este proyecto de grado y sus avances en diferentes congresos y actividades alrededor de las áreas abordadas con el fin de difundir este estudio de investigación y realimentar el desarrollo del mismo. Esta labor se hará durante todo el desarrollo del proyecto.

VII. RESULTADOS

A. Diseño Educativo

El diseño educativo de este proyecto se basa en dos modelos conceptuales, uno desde la dinámica de sistemas, que aborda la noción de aprendizaje planteado por Jay W. Forrester y los supuestos

alrededor de la misma, teniendo en cuenta los diferentes aportes de B. Richmond a dicha noción; así mismo, considera un modelo conceptual desde los mecanismos de regulación en donde se vislumbra conceptos como reciprocidad y cooperación, indispensables para desarrollar los diferentes mecanismos.

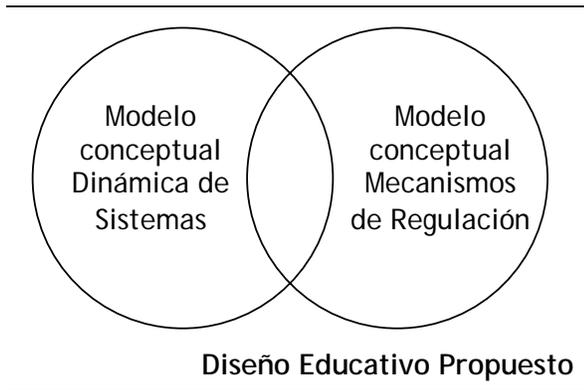


Fig. 4 Relación Diseño Educativa y Modelos Conceptuales

1) *Supuestos Dinámica de Sistemas*

A. El diseño educativo clásico propicia que la mente humana identifique y capture: imágenes estáticas, relaciones lineales, eventos independientes; que inducen a desconocer la verdadera dinámica de los sistemas.

B. Causa y efecto están distantes en espacio y tiempo.

C. La relación existente entre las personas y su entorno, se ve fragmentada, debido a la incapacidad de la educación tradicional para hacer que las mentes humanas, distinguan y vislumbren, la relación que se articula por los ciclos de realimentación que conforman la dinámica y el comportamiento de los diferentes sistemas.

Para este trabajo se distinguen tres supuestos que permiten comprender el cambio y la complejidad de los sistemas:

D. Los procesos de realimentación determinan la estabilidad, estancamiento, descenso y crecimiento de las variables de estado del sistema.

E. La presencia de computadores personales proporcionan herramientas potentes que permiten asistir a través de la simulación la relación entre la estructura y el comportamiento de los sistemas complejos.

F. El conocimiento de estructuras dinámicas radica en los modelos mentales de cada una de las personas.

2) *Supuestos Mecanismos de Regulación*

Por medio de su libro *Governing the Commons*, Ostrom critica la teoría convencional de los recursos de uso común, la cual supone que los individuos que se enfrentan a un dilema, debido a las externalidades creadas por sus propias acciones, generarán estimaciones estrechas que los conducirán a dañarse a sí mismos y a otros sin encontrar formas de cooperación entre sí para evitar el problema. Además, se refiere a los siguientes resultados obtenidos de un gran número de experimentos de laboratorio con el fin de examinar de manera precisa las condiciones en las cuales los individuos cooperan entre sí para apropiarse de los recursos de uso común creados en el anteriormente mencionado escenario:

A. Cuando no existe comunicación entre los diferentes usuarios de un recurso común, estos tenderán a sobreexplotarlo a un nivel agregado que se acerca al nivel previsto.

B. Se obtienen mejores beneficios cuando se permite la comunicación entre los usuarios del recurso de uso común.

C. Cuando hay pagos bajos, la comunicación cara a cara permite a los usuarios alcanzar y mantener acuerdos cercanos a los niveles óptimos de apropiación.

D. Cuando hay pagos altos, algunos usuarios estarán tentados a incumplir los acuerdos.

E. Al ofrecer la oportunidad de participar en un monitoreo costoso y en la aplicación de sanciones, los usuarios estarán dispuestos a pagar para castigar aquellos que sobreexploten el recurso común.

F. Se mantiene a un nivel bajo el incumplimiento de los acuerdos, cuando los usuarios discuten abiertamente y acuerdan sus propios niveles de uso y sus sistemas de sanciones.

B. Modelos Dinámico Sistémicos Mecanismos de Regulación

Los modelos dinámico sistémicos en los que se basa este juego de simulación provienen del proyecto de grado: “Evaluación Dinámico Sistémica De La Teoría De Regulación De Comunes Como Explicación De Su Depredación En Colombia”.

1) *Modelo Estado*

En la Fig. 5 que se encuentra en los anexos, se muestra un diagrama de Forrester con las diferentes variables que interactúan en el recurso común del bagre, con la aplicación del mecanismo de regulación del Estado.

Después de la simulación de dicho modelo se puede evidenciar el comportamiento que tiene el bagre dado este mecanismo de regulación del estado, como se muestra en la siguiente Fig. 6, en donde el recurso tiende a tener un crecimiento en los primeros años, que después de un tiempo se convierte en una pequeña oscilación que lleva a la depredación del recurso.

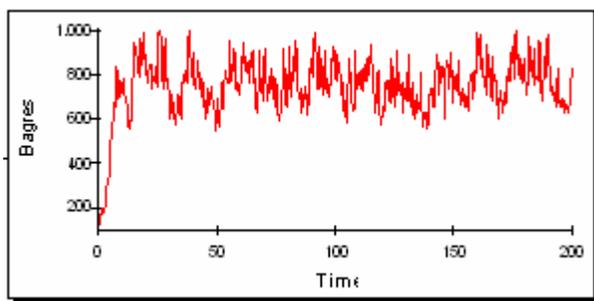


Fig. 6: Comportamiento de la cantidad de bagre

➤ *Modelo Privatización*

Este modelo representa la división del recurso, en este caso el bagre, en partes “iguales”, Fig. 7. Sin

embargo, no se puede garantizar o controlar la tasa de mortalidad y natalidad. Por otra parte, dependerá exclusivamente de cada ente privado la cantidad explotada del recurso.

Al simular dicho modelo se obtienen diferentes comportamientos para los entes privados que explotan el recurso a pesar de que las condiciones iniciales eran las mismas, como se muestra en la Fig. 8.

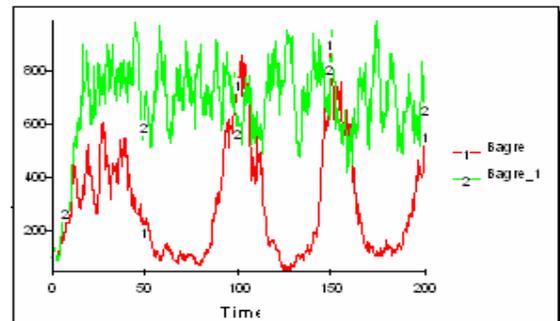


Fig. 8: Comportamiento de la cantidad de bagre

2) *Modelo Autogestión*

En la Fig.9 se muestra el diagrama de Forrester que representa el mecanismo de regulación propuesto por Ostrom, en donde se evidencian factores tan determinantes para este como la reciprocidad.

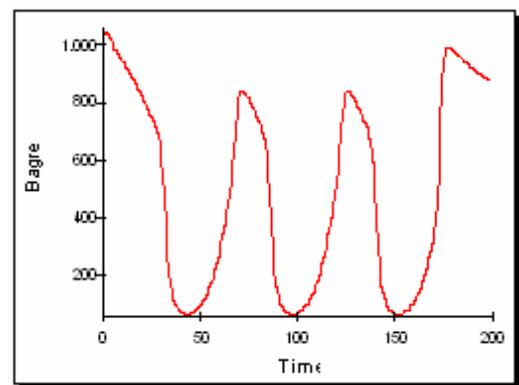


Fig. 10: Comportamiento de la cantidad de bagre

Al simular dicho modelo dinámico sistémico se obtuvo una disminución el recurso a tal punto de casi depredarlo, sin embargo, después de un tiempo se produce un crecimiento sustancial del recurso, generando un comportamiento oscilatorio, como se muestra en la siguiente Fig. 10.

C. Prototipo Interfaz del Juego

El prototipo de juego de simulación de este proyecto presentará entre otras cosas los modelos dinámico-sistémicos en los que se basa su comportamiento como se muestra en la Fig.

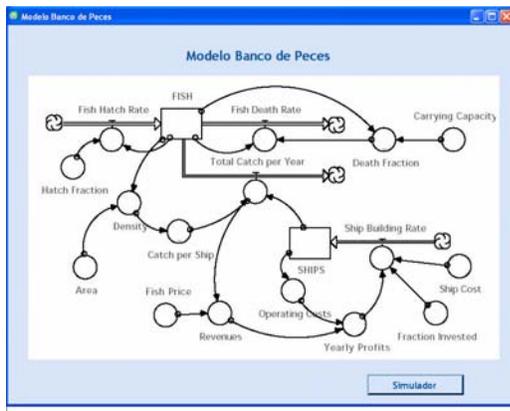


Fig.9. Muestra la Vista Estructural del Banco de Peces

Además, dicho juego contará con un simulador como el que se muestra en la siguiente figura que permita vislumbrar el comportamiento del recurso dado algunas decisiones tomadas por el usuario.



Fig. 10. Interfaz Simulador [16]

REFERENCIAS

[1] Instituto Humboldt. [En línea]. Disponible en Web: <http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php>
 [2] J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*. Cambridge, U.S.A.: MIT Press, 1961.
 [3] B. Richmond, Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review* (Summer 1993), pp. 113-133.

[4] J. Sterman, Bathtub dynamics: initial results of a system thinking inventory. *Forthcoming, System Dynamics Review*, 2000.
 [5] J. D. W Morecroft, Modelling Growth Strategy in a Biotechnology Startup Firm. *System Dynamics Review* D. C. Lane, & P. S. Viita. 1991.
 [6] Comunidad Virtual Del Mecanismo De Facilitación. *Áreas Protegidas*. Disponible en Web: http://www.humboldt.org.co/chmcolombia/servicios/jsp/riedes/a_p/legislacion.htm
 [7] Sentir, Fundación Ecológica. La Biodiversidad. 2005. Disponible en Web: <http://www.sentir.org/biodiversidad/biodiversidad.htm>
 [8] K. Mani y V. Maharaj, "Links between systems thinking and complex decision making". *System Dynamics Review*; Spring 2004; 20, 1; ABI/INFORM Global. pg. 21
 [9] E. Ostrom, "*Governing the Commons: The evolution of institutions for collective action*". Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1990. También publicado en español: Ostrom, Elinor (2000) "*El Gobierno de los Bienes Comunes*". Fondo de Cultura Económica y CRIM. Mexico, 2000.
 [10] A. Smith, *The Wealth of Nations*. New York: Random House, 1937.
 [11] J. C. Cardenas y E. Ostrom, "What Do People Bring into the Game? How Norms Help Overcome the Tragedy of the Commons". *Presented at the "Norms and Law" seminar organized by the Center for Interdisciplinary Studies*, School of Law, Washington University in St. Louis, March 29 to March 31, 2001.
 [12] Training Games. From teaching to learning through games [En línea]. [Europa]: 2004. Disponible en Web: <http://www.traininggames.com/pdf/es/LaSimulacioncomoHerramientadeFormacion.pdf>.
 [13] F. H. Maier y A. GroBsler, "What are we talking about?-- A taxonomy of computer simulations to support learning". *System Dynamics Review*; Summer 2000; 16, 2; ABI/INFORM Global. pg. 135, 2000.
 [14] J. Parra, "*Un Sentido para la Ingeniería de Sistemas. En aproximación a sus fundamentos y límites*". Colombia, 2005.
 [15] G. Booch, J. Rumbaugh y I. Jacobson, "*El proceso Unificado de Desarrollo de Software*". España: Madrid. Editorial Addison Wesley, 1999.
 [16] A. Malpica y Y. Hernández *Micromundo Formas de Pensamiento Sistémico Crítico*. Bucaramanga, Colombia. 2004
 [17] J. Parra, A. Mayorga y J. Martínez. *Juego de Simulación para el mejoramiento del proceso de toma de decisiones en la regulación de recursos comunes*. Bucaramanga, Colombia, 2005.

Autores

JORGE ANDRICK PARRA VALENCIA

Ingeniero de Sistemas y Magíster en Informática de la Universidad Industrial de Santander.

Su trabajo ha girado entorno al modelamiento y simulación con Dinámica de Sistemas, a su fundamentación ontológica como tecnología de representación y a su aplicación como motor de diversos micromundos de carácter educativo y organizacional, desde la perspectiva del Pensamiento Dinámico Sistémico, el Enfoque de Sistemas y la Teoría Biológica del Conocer. Además ha trabajado alrededor de la fundamentación ontoepistemológica del programa de Ingeniería de Sistemas de la UNAB.

Actualmente se desempeña como Docente Asociado de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Puede consultarse una relación detallada de publicaciones en la página Web: <http://fis.unab.edu.co/docentes/japarra/publicaciones/>

ADRIANA PATRICIA MAYORGA GÓMEZ

Estudiante de Octavo Semestre de la Facultad de Ingeniería de Sistemas.

Escuela de Ciencias Naturales e Ingenierías.

Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Integrante del Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico

JOSÉ LUIS MARTÍNEZ CAÑAS

Estudiante de Octavo Semestre de la Facultad de Ingeniería de Sistemas.

Escuela de Ciencias Naturales e Ingenierías.

Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Integrante del Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico.

VIII. ANEXOS

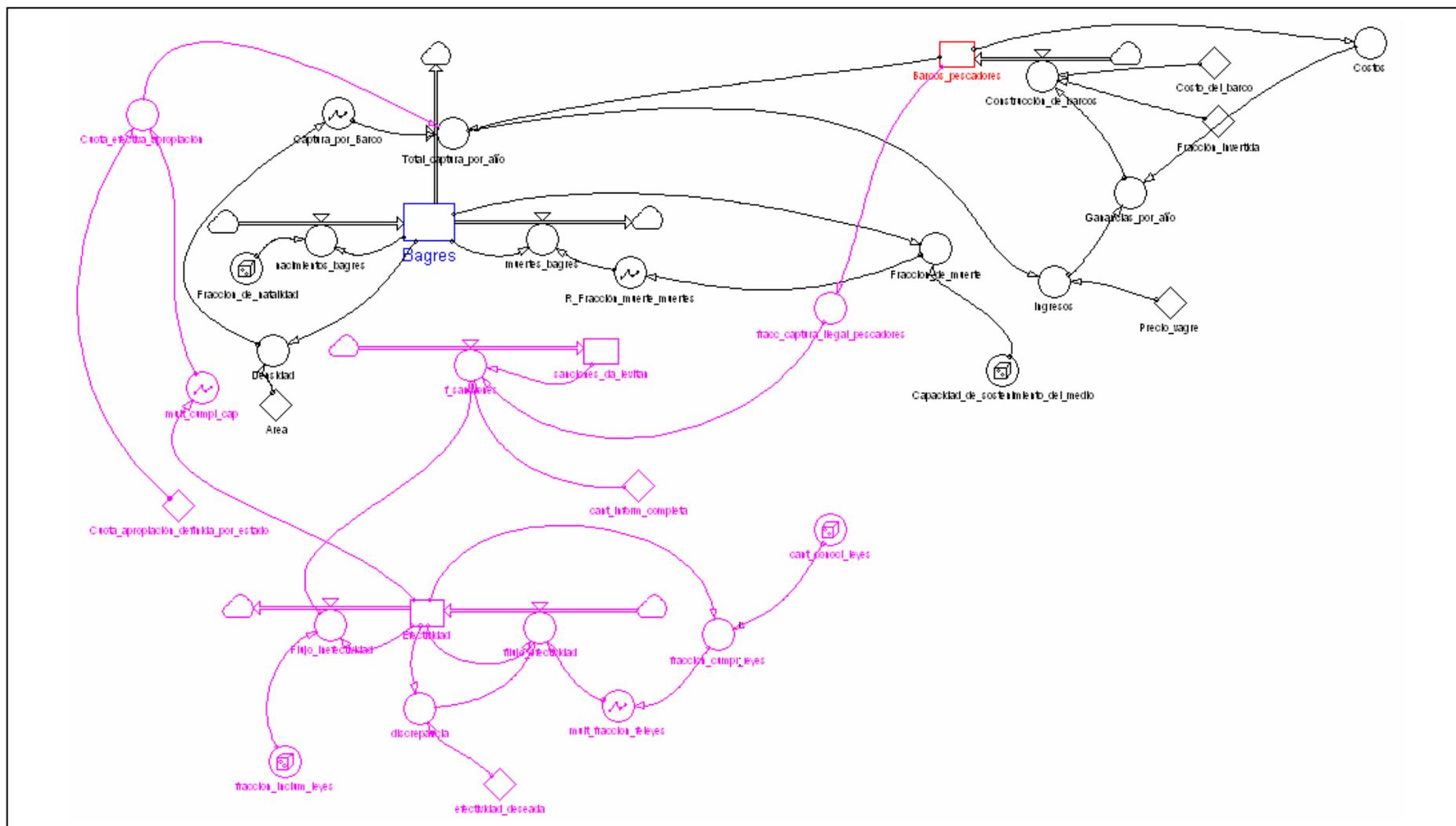


Fig. 5 Modelo Dinámico Sistémico de la cantidad de bagre con el Mecanismo de Regulación del Estado

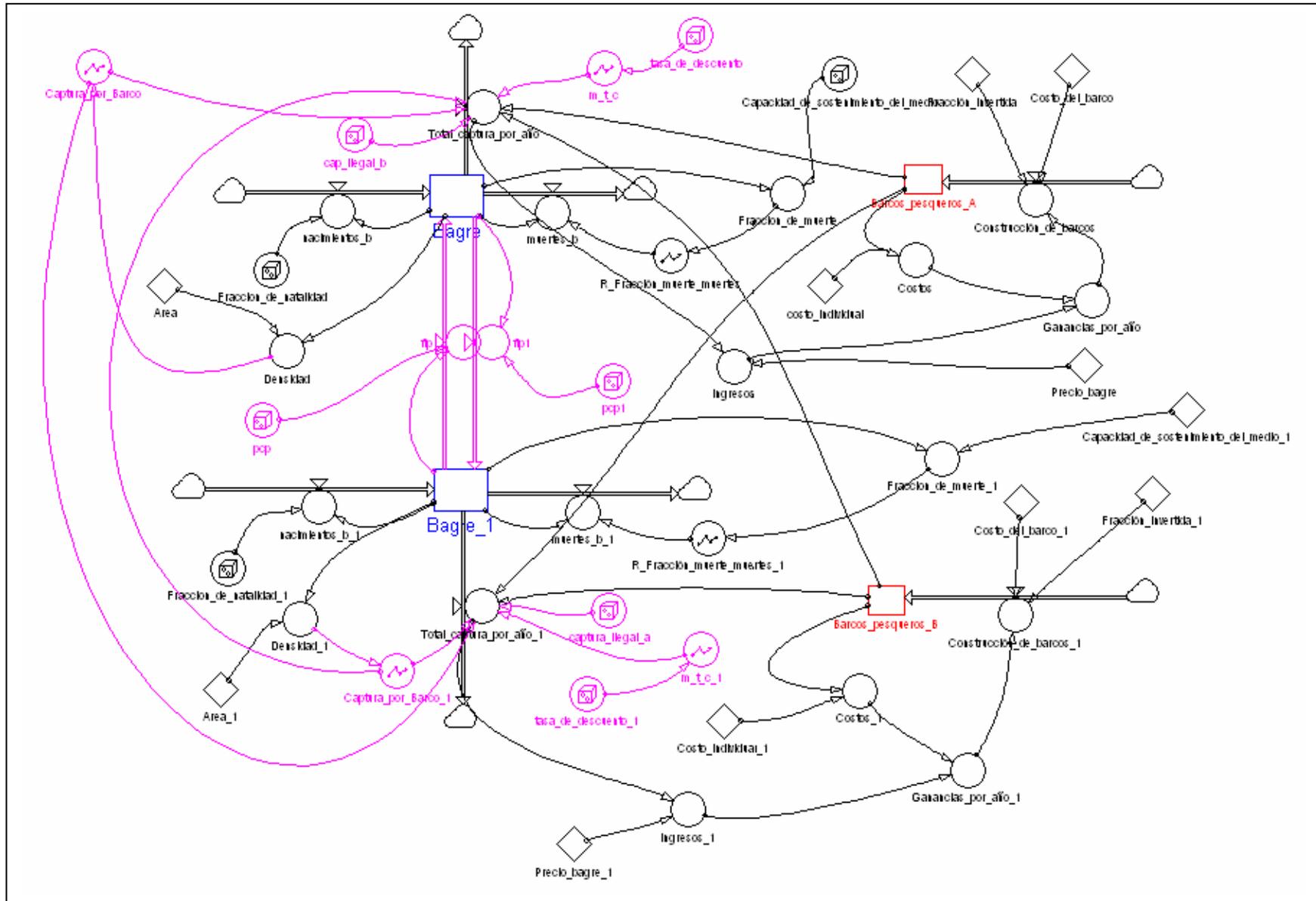


Fig. 7. Modelo Dinámico Sistémico de la cantidad de bagre con el Mecanismo de Regulación de la Privatización

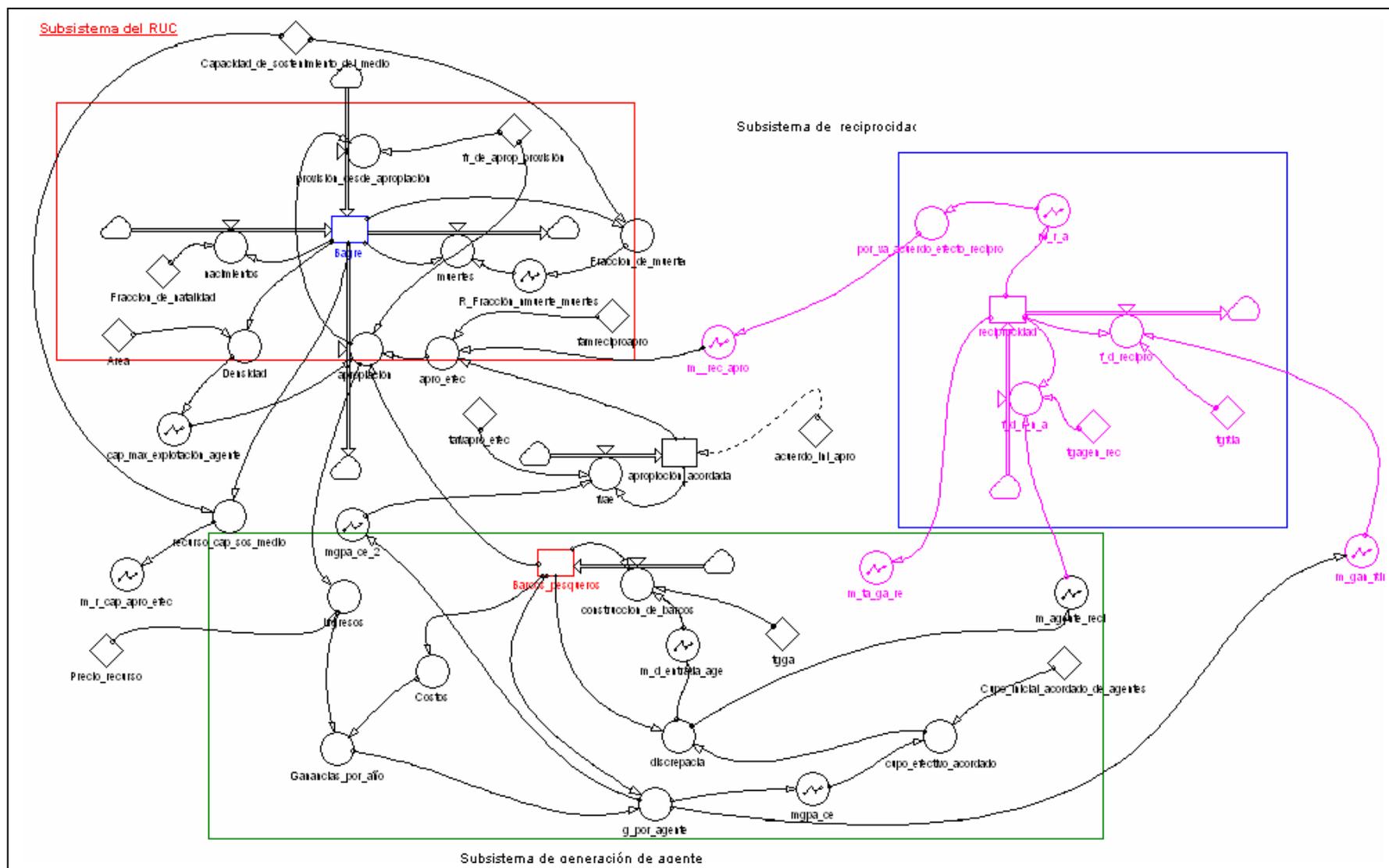


Fig. 9. Modelo Dinámico Sistémico de la cantidad de bagre con el Mecanismo de Regulación de Autogestión

El algodón frente al TLC: ¿Oportunidad o Amenaza?

París París, Sebastián. Rincón Cruz, Angela Patricia, Awad Aubad, Gabriel.
{sparisp, aprincon, gawad}@unalmed.edu.co
Universidad Nacional de Colombia –sede Medellín

Introducción. Colombia ha venido perdiendo competitividad en la producción de algodón debido, entre otras cosas, a los subsidios algodonereros de los países desarrollados que originan bajas cotizaciones internacionales; incluso algunos autores afirman que si se lograra un acuerdo mundial para la eliminación de los subsidios a la producción de algodón, se alcanzaría una situación ideal para los algodonereros colombianos, ya que el algodón colombiano sería más competitivo que el de EU (ESPINAL, 2002). Sin embargo, otros autores afirman que “los resultados de simulaciones indican que una gran reducción en los subsidios de EU no necesariamente aumentará significativamente los precios” (SHEPHERD, 2004).

La fibra de algodón juega un importante papel en los países en desarrollo latinoamericanos, asiáticos y africanos debido a que es un proveedor de divisas y generador de empleo e ingresos para la agricultura, además existen diversos usos que se le pueden dar a la fibra, entre los que está ser materia prima de la producción textil, utilización de su semilla como fuente de aceite vegetal, fertilizante y alimento para animales y uso de la pulpa como materia prima para la producción de harina. (Espinal, 2002).

En cuanto al empleo que genera la producción de algodón en Colombia, se tiene que antes de 1991, los empleos generados en el cultivo de la fibra de algodón estaban en niveles de 80.000, para el 2003 los empleos bajaron hasta 15.000 (Espinal, 2002). La importancia del tema radica en analizar los posibles escenarios que se están negociando en el Tratado de Libre Comercio (TLC), para poder determinar que es lo más conveniente para los productores colombianos

En el (TLC) se está negociando, entre otras cosas, los aranceles a las importaciones del algodón y los subsidios para la producción y exportación del mismo que brinda Estados Unidos. Dado que en Colombia, ya se han realizado estudios con dinámica de sistemas para determinar el impacto del TLC en otros sectores (azúcar, flores) (CRUZ y RESTREPO, 2005); se encuentra que la dinámica de sistemas podría ser una herramienta adecuada para explorar las consecuencias del TLC en la producción de algodón.

Objetivos. Evaluar las consecuencias de la negociación del TLC para los productores colombianos de algodón. El análisis se basa principalmente en el comportamiento de las variables precio, cantidad producida y ganancias para el productor; a partir de cambios en las políticas de aranceles y de subsidios.

Métodos. El artículo fue realizado con el apoyo de material encontrado en Internet, las estadísticas provienen en su gran mayoría de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y del International Cotton Advisory Committee (ICAC). El modelo se concentra en la producción de fibra dejando de lado los otros elementos de la cadena productiva, con el fin de determinar el impacto que recibirán los productores nacionales de fibra de algodón con la aprobación del TLC.

Notas y supuestos del modelo.

1. Los efectos en variaciones de la tasa de cambio no son analizados en el modelo, esto debido a que las interacciones de las variables del modelo no afectan la tasa de cambio.

2. La producción de un periodo depende fundamentalmente de la demanda del periodo anterior y de la motivación por parte de los agricultores a invertir en los cultivos de algodón
3. Los problemas de orden público del país no son tenidos en cuenta en el análisis del modelo, porque si el negocio de la producción de fibra es favorable (buena motivación), los efectos de éstos problemas serían poco significativos.
4. A pesar de que muchos autores afirman que un problema grave de Colombia en el comercio internacional son los elevados costos de transporte, esta variable no se tendrá en cuenta porque se pretende mostrar el efecto de otras variables más relevantes para el objetivo del modelo.

Análisis del problema.

Para construir el diagrama causal que representara el problema del impacto del TLC en la fibra de algodón, se partió del planteamiento que se ilustra en la Figura 1, en donde se establecen las relaciones de oferta y demanda existentes entre cualquier producto agrícola.

Como se puede observar en la Figura 1, en el modelo hay dos ciclos de balance, el primero (B1) muestra el efecto de la producción sobre la oferta y los precios, en segundo (B2) muestra el efecto de las ventas sobre estas mismas variables.

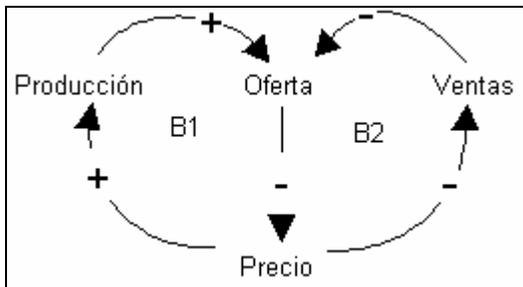


Figura 1. Análisis oferta y demanda
Fuente: los autores

Posteriormente, se determinó que era necesario según el objetivo del modelo, introducir una variable en la cual se reflejaran los efectos de los diferentes escenarios que se pueden dar según las características de las diferentes negociaciones del TLC, esta variable son las ganancias (Figura 2), las cuales miden en pesos la ganancia de los

productores nacionales derivadas de unos precios y costos establecidos.

En la figura 2, se mantienen los ciclos de balance expuestos en la Figura 1, la variable motivación tiene en cuenta que con buenas ganancias por parte de los productores, éstos estarán más motivados a invertir en más producción con un retardo proveniente del tiempo que se demora la adecuación de nuevas tierras.

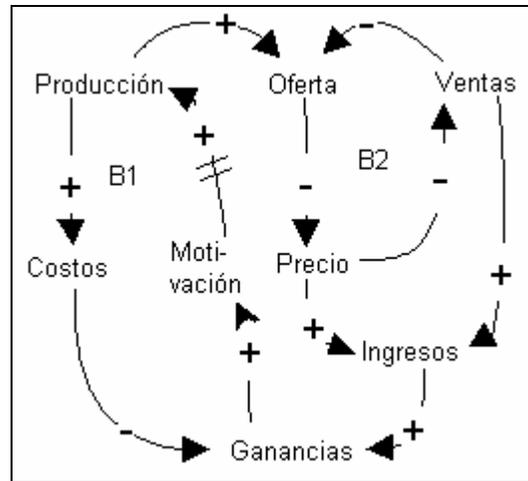


Figura 2. Ganancias para los productores
Fuente: los autores

Para efectos de análisis del comercio internacional, es necesario trabajar en términos de competitividad de los precios de los mercados, esta variable consiste en un cociente entre los precios de los agentes que intervienen en el comercio. La Figura 3 muestra el nuevo diagrama causal propuesto para el comercio internacional de cualquier producto agrícola, en el cual un aumento en el precio del producto interno produce una pérdida de competitividad con respecto a la competencia del exterior que se verá reflejada en una disminución en la cantidad de ventas.

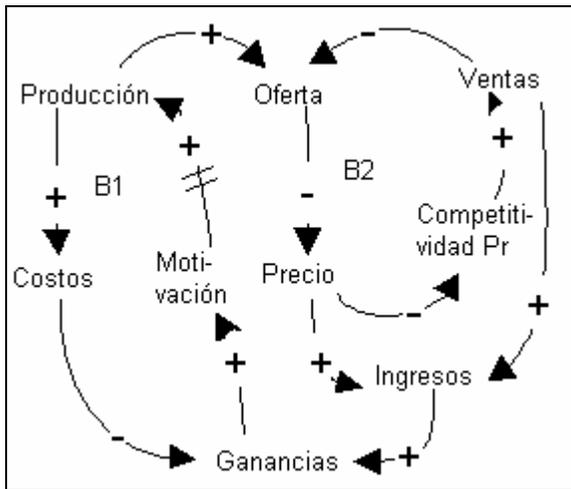


Figura 3. Modelo comercio internacional de producto agrícola.

Fuente: los autores

Partiendo de este modelo de comercio internacional para cualquier producto agrícola (figura 3) se proseguirá con el estudio del mercado mundial del algodón con el objetivo de plantear un modelo en el que se analicen posibles variaciones debidas a las características particulares del mercado del algodón, y teniendo en cuenta los siguientes tres agentes que intervienen en el problema del impacto del TLC: Colombia, Estados Unidos y Resto del Mundo. A pesar de que el TLC es solamente entre Colombia y Estados Unidos, es necesario analizar el papel del Resto del Mundo en esta negociación debido a su amplia participación en el mercado.

Panorama mundial del algodón. Las ayudas que ofrecen los países desarrollados causan la disminución del precio del algodón, afectando seriamente la economía de países en los cuales éste tiene una importante participación en el PIB, uno de los países afectados es Brasil, que ya tomó cartas y denunció este hecho ante la OMC. (Oxfam Internacional, 2004), la OMC decidió que Estados Unidos debió acabar este sistema de subvenciones a partir del 1 de Julio de 2005, pero la administración norteamericana respondió el 5 de Julio que pasaría esta decisión al congreso (Portafolio, 2005a).

Los precios internacionales de la fibra de algodón han pasado históricamente por tres fases, la primera fue hasta finales de 1979, en donde el precio estuvo subiendo a una tasa promedio de 10% anual, luego hubo un periodo de estabilidad de 1980 hasta 1995 en el que no hubo mayores variaciones en éste

manteniéndose alrededor de 75 centavos de dólar la libra, luego el precio empezó a caer fuertemente hasta la actualidad.

La caída de precio ha estado acompañada de un aumento en las existencias mundiales de algodón de 7 millones de toneladas en 1993 a 10.6 millones de toneladas en 2001. (Espinal, 2002). Con lo cual se puede apreciar la existencia de la relación planteada entre oferta y precios para el caso específico de la fibra de algodón.

Los mayores productores de fibra de algodón en el mundo son China y EU, que producen alrededor de 5 y 4 millones de toneladas respectivamente de los 20.3 millones de toneladas que se produjeron en el 2003. En Latino América, el mayor productor es Brasil con 1 millón de toneladas en el 2003, lo cual lo ubica como el quinto mayor productor mundial de fibra de algodón (BAFFES, 2004). Colombia ocupó en el 2003 el puesto número 34 entre los productores mundiales de fibra de algodón con una participación del 0.18%, cabe anotar que las exportaciones mundiales son apenas el 32% de la producción mundial, por lo cual la mayoría de la producción es destinada para satisfacer el mercado interno. (Espinal, 2002).

El consumo mundial de fibra de algodón ha estado aumentando desde 1998 pasando de 18.3 a 22.2 millones de toneladas en 2005, lo que equivale a aumentar 550 mil toneladas de consumo por año (ICAC, 2004)

El sector algodonero en Estados Unidos. En Estados Unidos, los subsidios juegan un importante papel, ya que el costo real de producción (sin subsidios) supera al de los países en vía de desarrollo; sin embargo, el alto nivel de subsidios le permite alcanzar un precio competitivo, obteniendo una amplia participación en las exportaciones mundiales (alrededor del 33%). Algunos estudios han determinado que si se eliminaran los subsidios en EU, habría una reducción del 28% en su producción y un aumento de 11 centavos de dólar por libra en el mercado internacional. (Espinal, 2002).

En promedio EU otorgó subsidios por 2.031 millones de dólares por año entre 1995 y el 2003

(BAFFES, 2004). Actualmente el porcentaje de subsidio que tiene el algodón en EU; es de alrededor del 61.7% del precio. (PORTAFOLIO, 2005b)

El sector algodonero en Colombia. En 1992 Colombia era exportador neto de la fibra de algodón pero a lo largo de la historia, esta característica se ha venido perdiendo hasta llegar al punto actual de importar el 50% de la demanda actual del país, en su gran mayoría desde los Estados Unidos. La baja cotización internacional y la reducción de los aranceles de importación de este producto fueron los responsables de la reducción en la producción nacional, que posteriormente convertiría al país en un gran importador. (Espinal, 2002).

La cadena productiva del algodón está compuesta por las fibras de algodón, los hilados, los textiles y finalmente las confecciones, Colombia es exportador de confecciones, pero en los otros tres elementos de la cadena es importador, lo cual es considerado como un factor negativo a largo plazo, ya que la no existencia de eslabones hacia atrás en la cadena productiva, genera altas dependencias de importación (Espinal, 2002).

El algodón en Colombia es un producto de ciclo semestral, en el cual el 70% de la producción anual se da de diciembre a marzo y el 30% restante se da entre Junio y Octubre, garantizando una estabilidad en la oferta, que es un factor competitivo positivo. (Espinal, 2002).

Continuación de la construcción del modelo.

Como se puede apreciar, la participación de Colombia en el mercado mundial de la fibra del algodón es muy baja (0.18%), además según estudios econométricos en los que se analiza la relación entre el precio nacional e internacional de diversos productos agrícolas, se ha encontrado que “el algodón es el único producto que presenta en su precio interno una fuerte relación, tanto en el corto como en el largo plazo, con su par internacional. Según los resultados del estudio, un cambio de \$10 en el precio mundial denominado en la moneda local resulta en un cambio de \$3,4, en el período corriente y de \$1,37, en el período siguiente; como consecuencia de lo anterior, tres años después, el

95% de las variaciones en el precio mundial son transmitidas a los precios domésticos.” (ESPINAL, 2002)

Basados en estos estudios, se concluye que para el caso de la fibra de algodón en Colombia, el ciclo que muestra el efecto de las ventas en los precios y la oferta (B2) no existe, ya que las variaciones en niveles de oferta no influyen en los precios domésticos. Según lo anterior el precio de la fibra de algodón en Colombia se fija según el precio internacional, ecuación 1:

$$Pr Col = f(Pr RW) \tag{1}$$

Partiendo de la información encontrada de las fuentes bibliográficas consultadas, la Figura 4 muestra el modelo de las ganancias de los productores colombianos de la fibra de algodón con el comercio internacional.

En esta gráfica solamente hay un ciclo de balance B1, el cual muestra el comportamiento de la producción y las ganancias para los productores colombianos, el retardo planteado entre motivación y producción hace referencia al tiempo que se demora la adecuación de las nuevas tierras.

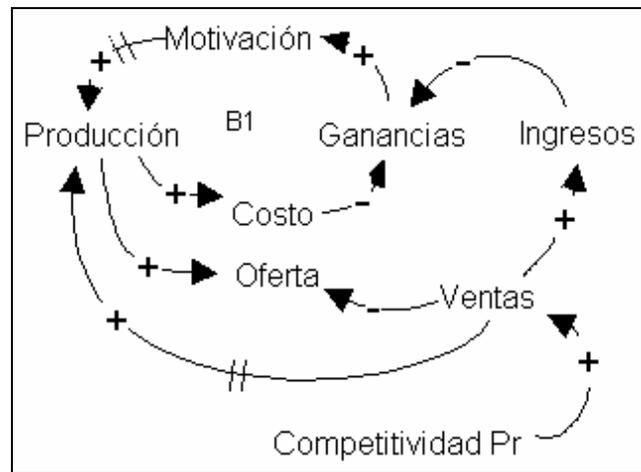


Figura 4. Modelo de ganancias de productores colombianos del algodón con el comercio internacional
Fuente: los autores

Para los otros dos agentes que se van a trabajar en el modelo (Estados Unidos y el Resto del Mundo), se trabajará el diagrama causal expuesto en la figura 3 ya que debido a la gran participación que tienen en

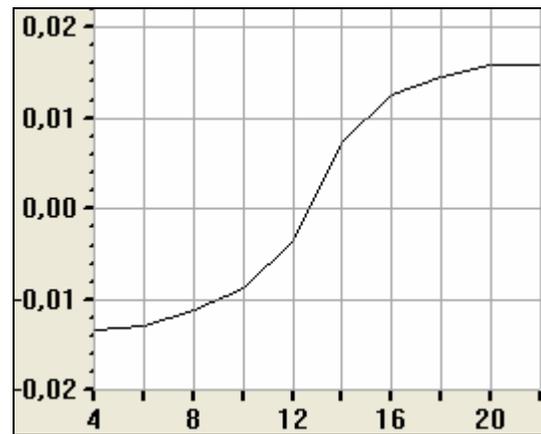
el mercado, están en la capacidad de modificar los precios de la fibra de algodón. La variable que relaciona los tres diagramas causales expuestos es la Competitividad de los precios que se explicará posteriormente.

Determinación del paso del tiempo para el modelo: partiendo de la necesidad de determinar los resultados del modelo a largo plazo, se fijó un tiempo de 20 años, y según la rotación de la fibra de algodón que es de 5 meses y nueve días (este dato se obtuvo del cociente entre el consumo mundial y el inventario final), se determinó que el paso de tiempo adecuado era de tres meses.

Desarrollo del ciclo de balance B1 (comportamiento de producción y ganancias): La variable ganancias del periodo hace referencia a la aproximación del resultado que obtienen los productores de fibra de algodón en un periodo de tres meses. Para poder determinar su valor (ecuación 2) se parte de los ingresos (provenientes de las ventas), los egresos (calculados según la producción) y la variable fin de periodo que es igual a la ganancia en el periodo t, esto con el fin de que en la variable ganancias del periodo no se tengan en cuenta saldos anteriores de ganancias.

$$\left(\frac{Ganancia}{periodo(t)} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{Ingresos - egresos -}{fin periodo} \right) \quad (2)$$

A partir de la magnitud de las ganancias del periodo, los productores se encontrarán motivados o desmotivados a invertir en ampliar la producción, la gráfica 1 muestra la relación que se plantea para relacionar estas dos variables, en el eje vertical se encuentra la motivación (motivac inversión Col) en porcentaje y en el eje horizontal las ganancias para los productores.



Gráfica 1. Relación ganancias y motivación de los productores
Fuente: los autores

Como ya se había mencionado, la motivación de los productores a realizar nuevas inversiones en cultivos no se traduce inmediatamente en mayor producción, “una caída en los precios (pérdida de motivación) conduce, con un rezago de un año, a una caída en la producción y, viceversa” (MARTINEZ, 2002), la ecuación 3 muestra este análisis.

$$motivac\ periodo = delaypp(motivac\ inversión, 4, 0.01) \quad (3)$$

La producción del periodo, se parte de la motivación de los productores y de la demanda del periodo anterior.

Para fijar la demanda del período anterior, se parte de las necesidades que pueden satisfacer cada uno de los agentes. En este punto es necesario realizar una comparación entre la demanda esperada y la demanda real, fijando así el cambio en la demanda (ecuación 4). La variable tiempo de cambio de la demanda, hace referencia a la rapidez con la cual los productores se acomodan a las necesidades de la demanda, el valor de este parámetro es 4, ya que ante los cambios en la demanda, se da respuesta total de los productores un año después (MARTINEZ, 2002)

$$cambio\ dda = \left(\frac{dda\ esperada - dda\ fibra}{T\ cambio\ dda} \right) \quad (4)$$

Según las características de cada agente, se fijan los niveles de inventario deseados que dependen de la demanda esperada, luego de tener el inventario deseado se compara con la oferta de los agentes para realizar los ajustes necesarios y controlar la producción del período manteniendo niveles de inventarios razonables.

Finalmente la producción del período dependerá de la motivación y de la producción según la demanda obtenida de acuerdo al proceso descrito, ecuación 5.

$$Pr od periodo = \left(\begin{matrix} Pr od según dda * \\ motiv periodo \end{matrix} \right) \quad (5)$$

Este ciclo se cierra con la relación entre producción y las ganancias, al multiplicar la producción por los costos unitarios de producción se obtienen los egresos del periodo, los cuales a su vez disminuyen las ganancias tal y como se explico:

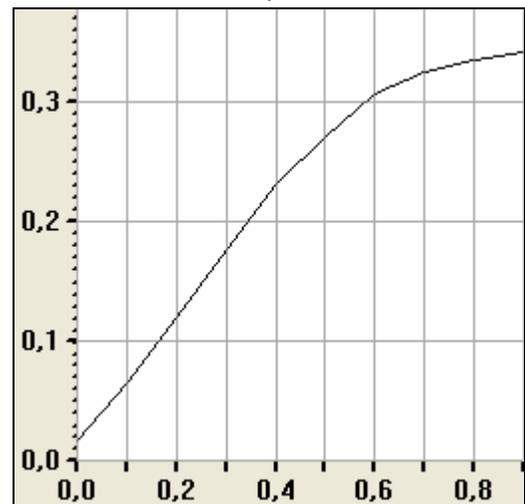
Establecimiento de la competitividad de precios: esta es una variable del diagrama causal de gran importancia, debido a que en ella se analizan los efectos de los aranceles a las importaciones y de los subsidios a los productores, en el establecimiento de los precios mínimos de cada país, además de ser la base para establecer los cocientes apropiados de precios que fijaran las cantidades que se comerciaran entre los agentes.

Para establecer los precios mínimos en cada país, se partió de los precios netos de cada país, los cuales se obtenían de la siguiente ecuación (6).

$$Pr neto Agente_i en país_j = Pr Agente_i * (1 - reducción Pr subsidio) * (1 + aranceles) \quad (6)$$

Los aranceles son los impuestos a la importación que tiene cada país, esta variable provoca un aumento de los precios de entrada al país proporcional con el nivel de aranceles, por otra parte los subsidios son incentivos que reciben los productores por parte del Estado por la comercialización de la fibra del algodón. Según varios estudios, una disminución en el porcentaje de

subsidios, no significa un aumento proporcional en los precios. Según estudios, si los subsidios en Estados Unidos se eliminan, (pasan del 61.7% aproximadamente al 0%), se provocaría un aumento del 23% en el precio de Estados Unidos (ESPINAL, 2002). La gráfica 2 muestra la relación propuesta para determinar esta relación.



Gráfica 2. Reducción de precios por medio de los subsidios
Fuente: los autores.

El precio mínimo de cada país es simplemente el mínimo precio neto de cada agente en el país, la ecuación (7) muestra esto:

$$Pr min país_i = \min(Pr netos Agente_j en país_i) \quad (7)$$

Para el modelo es necesario determinar las siguientes tres cantidades de comercio: consumo interno colombiano de la producción de Colombia, exportación de Colombia a Estados Unidos y la exportación de Colombia al resto del mundo, las relaciones comparativas de precios que se muestran en la ecuación 8, son en las que se basan respectivamente cada una de estas 3 cantidades necesarias:

$$\begin{aligned} rel Pr 1 &= Pr min Col / Pr neto Col en Col \\ rel Pr 2 &= Pr min EU / Pr neto Col en EU \\ rel Pr 3 &= Pr min RW / Pr neto Col en RW \end{aligned} \quad (8)$$

Cada una de las relaciones de la ecuación 8 están entre cero y uno, debido a que el numerador siempre va a ser menor que el denominador, o igual cuando el precio neto de Colombia sea el más competitivo. Mientras estas relaciones sean más cercanas a uno, más competitivo será el precio de Colombia en el país en que se encuentre por lo tanto se demandará más fibra de algodón colombiano, este análisis se refleja en la ecuación 9.

$$\begin{aligned} Dda \text{ interna Col} &= (rel \text{ Pr } 1 * cons \text{ norm}) \\ Dda \text{ EU fibra Col} &= (rel \text{ Pr } 2 * exp \text{ EU norm}) \\ Dda \text{ RW fibra Col} &= (rel \text{ Pr } 3 * exp \text{ RW norm}) \end{aligned} \quad (9)$$

Las variables *cons norm*, *exp EU norm* y *exp RW norm*, son diferentes escenarios que se podrían dar de consumo de fibra de algodón por cada uno de los agentes trabajados, en el análisis de resultados se probarán diferentes valores posibles para estos parámetros..

Una vez estén determinadas las demandas de los diferentes agentes, es necesario garantizar que se tiene la oferta necesaria para satisfacerlas, porque de lo contrario, solamente se podrían vender los niveles que se tengan de oferta, la ecuación 10 muestra como se plasmó este análisis en el modelo. En donde cada una de las variables de oferta disponible se obtuvo dando preferencia a los consumidores colombianos, luego a los de Estados Unidos y finalmente lo que sobrara era para exportar al resto del mundo, la ecuación 11 muestra como se obtuvieron estas ofertas disponibles.

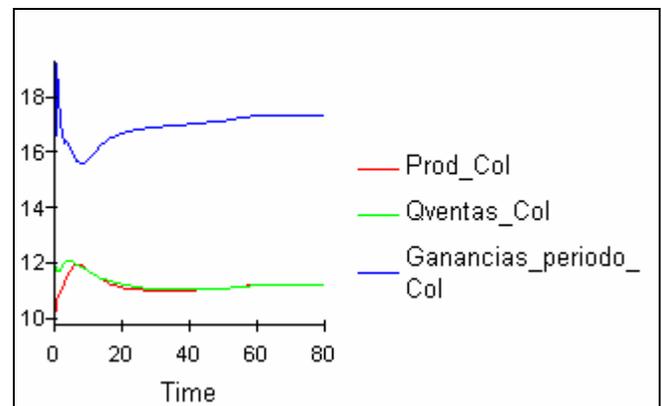
$$\begin{aligned} Cons \text{ Col} &= \min(ofeta \text{ Col}, Dda \text{ interna}) \\ Exp \text{ EU} &= \min(disp \text{ EXP EU}, Dda \text{ EU fibra Col}) \\ Exp \text{ RW} &= \min(disp \text{ EXP RW}, Dda \text{ RW fibra Col}) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Oferta \text{ Col}(t) &= \frac{d}{dt} (Prod \text{ Col} - Q \text{ vtas Col}) \\ Disp \text{ Exp EU} &= (Oferta \text{ Col} - Cons \text{ Col}) \\ Disp \text{ Exp RW} &= (Disp \text{ Exp EU} - Cons \text{ EU}) \end{aligned} \quad (11)$$

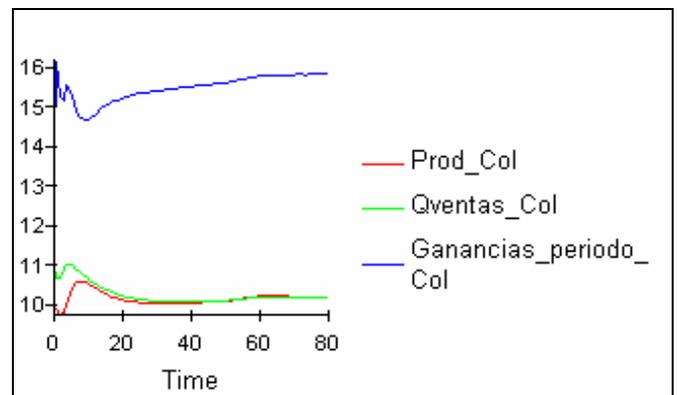
El análisis de las relaciones de precio es la base del modelo, tanto para Estados Unidos como para el Resto del Mundo se realiza este mismo análisis.

Análisis de resultados

Los aranceles: en el Tratado de Libre Comercio el punto que se está negociando con respecto a la fibra de algodón es la desgravación de los aranceles de importación que tiene Colombia (actualmente son del 10%), la gráfica 2 y la gráfica 3 muestran los resultados obtenidos de la producción y ventas de Colombia trimestrales (en miles de toneladas y miles de millones de pesos) para aranceles del 10% (sin TLC) y del 0% (con TLC) respectivamente.



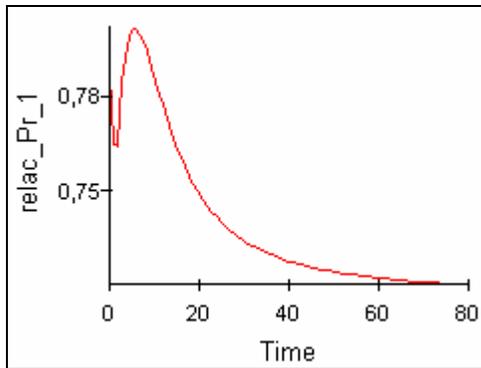
Gráfica 2. Producción, ventas y ganancias por trimestre con aranceles del 10%



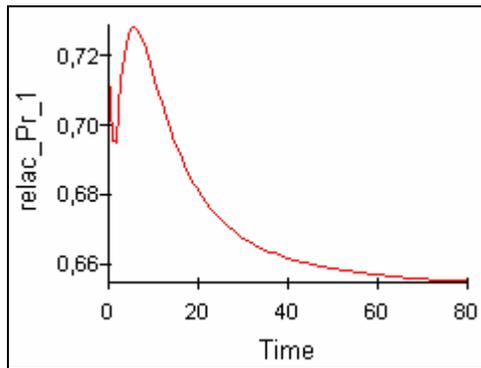
Gráfica 3. Producción, ventas y ganancias por trimestre con aranceles del 0%

Se puede observar que las ganancias disminuyen en aproximadamente mil millones de pesos por trimestre cuando se quitan las medidas de protección que tiene Colombia como es el arancel. La razón por la cual se da esta disminución en las ganancias es que debido a la mayor competitividad

de EU se produce un aumento en su participación en el mercado colombiano. En las gráficas 4 y 5 se muestran las relaciones de competitividad con niveles de aranceles del 10% y del 0% respectivamente.



Gráfica 4. Relaciones entre el precio mínimo en Colombia y el precio neto en Colombia, con aranceles del 10%

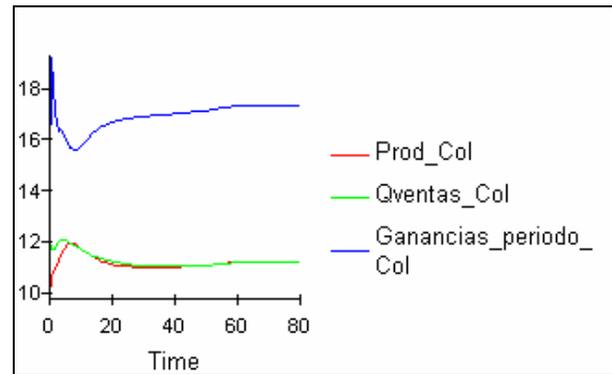


Gráfica 5. Relaciones entre el precio mínimo en Colombia y el precio neto en Colombia, con aranceles del 0%

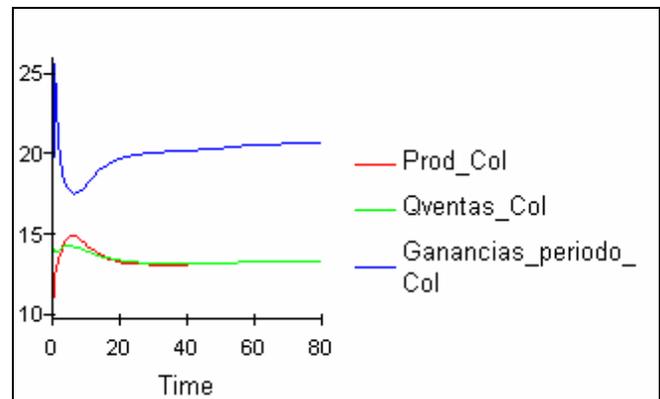
La relación de precios 1 es la única que se ve afectada con variaciones en el nivel de aranceles, este resultado es razonable porque el arancel de por sí es una medida proteccionista y tal y como se planteó en el modelo, la relación de precios 1 sirve para determinar el consumo de Colombia de la fibra de algodón de Colombia, por lo tanto si cae esta relación de precios, lo que se está mostrando es que los consumidores colombianos están pasando de consumir fibra de algodón propia a consumir fibra de algodón de Estados Unidos

En ambos escenarios se repite un patrón de comportamiento en el cual al principio las variables tienen un salto, y luego tienden a estabilizarse en los resultados del escenario.

Análisis de subsidios: este tema no se está negociando en el TLC, sin embargo como se puede apreciar en las gráficas 6 y 7, que corresponden a los resultados en las ganancias, producción y ventas, al mantenerlos en el nivel actual (61.7%) y de disminuirlos hasta un 30% respectivamente, muestran que es un factor importante a tener en cuenta.

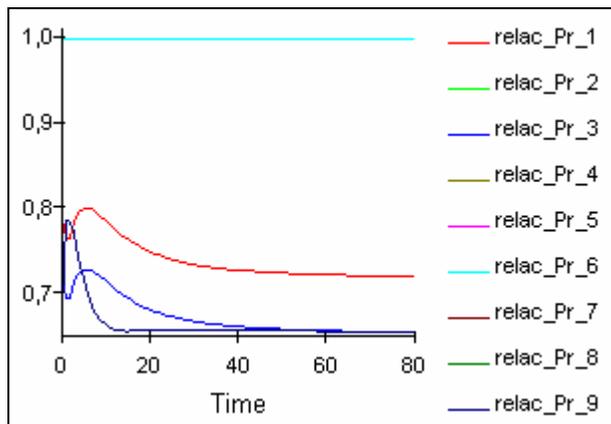


Gráfica 6. Escenario con subsidios del 61.7%

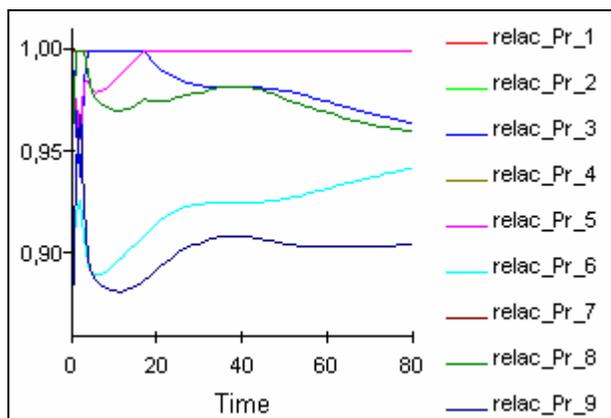


Gráfica 7. Escenario con subsidios del 30%

En las gráficas 6 y 7, se puede observar que el comportamiento sigue siendo similar, además de que una disminución en los subsidios de Estados Unidos efectivamente se transforma en un aumento en las ganancias y ventas para los productores colombianos. Al variar los niveles de subsidios del algodón, evidentemente, las relaciones de precios sufren cambios, las gráficas 6 y 7 muestran como son las variaciones de las relaciones de competitividad cuando hay un nivel de subsidios del 61.7% (el actual) y subsidios del 30% respectivamente.



Gráfica 8. Relaciones de competitividad con subsidios del 61.7%



Gráfica 9. Relaciones de competitividad con subsidios del 30%

Como se puede apreciar, las relaciones de competitividad son bastantes sensibles a los cambios en los subsidios, una disminución total de los subsidios produce fundamentalmente que Estados Unidos ya no sea el agente más competitivo del mercado, para el caso de la relación de precios 6, que determina la cantidad de fibra de algodón que Estados Unidos va a exportar a Colombia, se nota una disminución (aunque porcentualmente leve) que afecta las cantidades de exportaciones a Colombia y aumentan los ganancias de los productores colombianos tal y como se había enunciado.

Conclusiones

Para analizar el impacto del TLC entre Estados Unidos y Colombia, es importante partir de que en este modelo intervienen tanto Estados Unidos, como Colombia y el resto del mundo, esto debido a

que la amplia participación que tiene este tercer agente en el mercado mundial y a la relación entre los precios de este producto y los precios nacionales.

Debido a que Colombia tiene unos niveles insignificativos de participación en el mercado de fibra de algodón, su precio interno es determinado por las variaciones del precio mundial.

Actualmente como se pudo apreciar, el algodón colombiano no es competitivo frente a los tres agentes, es por esta razón que se ve necesario tomar medidas proteccionistas que busquen proteger a los pocos productores colombianos.

El tema de los subsidios a la producción de fibra de algodón en Estados Unidos, juega un papel vital en las ganancias y los niveles de competitividad de Colombia, por lo tanto es necesario que Colombia se concientice sobre la importancia y necesidad de incluir este punto en la agenda de negociaciones (tal y como lo hizo ya Brasil) con el fin de favorecer a los productores nacionales.

En la construcción de modelos con dinámica de sistemas es necesario partir de unos supuestos adecuados y de una información útil y confiable.

Referencias

BAFFES, J. (2004). "Brazil vs. US: Cotton Subsidies and Implications for Development". En línea: <http://www.worldbank.org/trade>

CRUZ, M., RESTREPO, M. (2005) "Impacto del TLC sobre la industria de las flores y el azúcar en Colombia"

ESPINAL, C F. (2002) "La cadena de algodón en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica. 1991-2005. En línea:

http://www.agrocadenas.gov.co/algodon/algodon_desccripcion.htm. 2005

FAO. (2004). "Algodón Notas sobre Productos básicos". En línea:

http://www.fao.org/es/ESC/es/20953/22215/highlight_28507es.html

Universidad Nacional de Colombia. Paris Sebastián, Rincón Ángela, Awad Gabriel, El algodón frente al TLC

ICAC. (2004) "Cotton: Review of the World Situation". En línea:

http://www.icac.org/cotton_info/publications/samples/reviews/erev_november_04.pdf

MARTINEZ, H. (2002) "Impacto de los subsidios internacionales sobre la producción de algodón en Colombia". En línea:

www.agrocadenas.gov.co/novedades/memo_agrocadenas02_español.pdf

OXFAM. "La 'resolución del algodón' de la OMC podría significar el final del dumping". 2004. www.oxfam.org/esp/pr180604_cotton.htm

PORTAFOLIO. (2005a). "Algodón: acciones de Brasil contra E.U. en servicios y propiedad intelectual". http://www.portafolio.com.co/port_secc_online/porta_inte_online/2005-07-13/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-2144493.html

PORTAFOLIO. (2005b). "Cotton USA". http://www.portafolio.com.co/proy_porta_online/tlc

[/opi_tlc/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-1744581.html](http://opi_tlc/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-1744581.html)

SHEPHERD, B. (2004) "The Impact of US Subsidies on the World Cotton Market: A Reassessment". En línea:

<http://www.oecd.org/dataoecd/0/9/31592808.pdf>

C.V.::

Sebastián PARÍS PARÍS: Estudiante de Ingeniería Administrativa, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Ángela Patricia RINCÓN CRUZ: Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Gabriel AWAD AUBAD: Ingeniero Administrador, Especialista en Política Económica, Magíster en Ingeniería de Sistemas. Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN DE POLÍTICAS PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES EN LA ZONA NORORIENTAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN

Ana Lucía Pérez Patiño MSc., John Fernando Escobar Martínez MSc,
Mariluz Cano Arboleda I.S, Jaime Andrés Moreno Toro I.S.
Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Sistemas

Resúmen: *Los riesgos de las amenazas naturales aumentan debido a tendencias sociales y ambientales tales como rápida urbanización y asentamiento humanos descontrolados, construcciones mal diseñadas, infraestructura inadecuada, pobreza y prácticas ambientales inapropiadas. Es por ello, que se requiere el establecimiento de políticas de intervención que favorezcan la prevención de desastres como un elemento importante en el desarrollo de las comunidades.*

Este artículo expone un método y una herramienta computacional apoyada en la metodología de Dinámica de Sistemas y componentes geográficos, la cual permite simular y evaluar políticas de intervención orientadas a la reducción de la vulnerabilidad de la población expuesta a la ocurrencia de desastres.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, prevención de desastres, políticas de intervención

1.Introducción

actividades económicas. Es necesario que las ciudades adopten medidas de prevención con el fin de minimizar las pérdidas de vidas y bienes materiales. Los gobiernos deben actuar de manera proactiva con el fin de proteger a las personas y los bienes de su territorio frente a amenazas naturales y evitar la ocurrencia de un desastre, en vez de asumirlo como inevitable e intervenir sólo cuando éste se presente [3].

La construcción de modelos y la aplicación de las decisiones tomadas en un ambiente simulado, permite observar previamente el comportamiento del sistema, minimizando las intervenciones inadecuadas, facilitando con ello los procesos de planificación y prevención[4].

Este artículo presenta el uso de la Dinámica de Sistemas para la simulación de un problema social complejo: la vulnerabilidad de la población de un área determinada a la ocurrencia de un evento desastroso, lo cual se constituye en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones y la evaluación de políticas de intervención en ambientes simulados.

2. Definición del problema

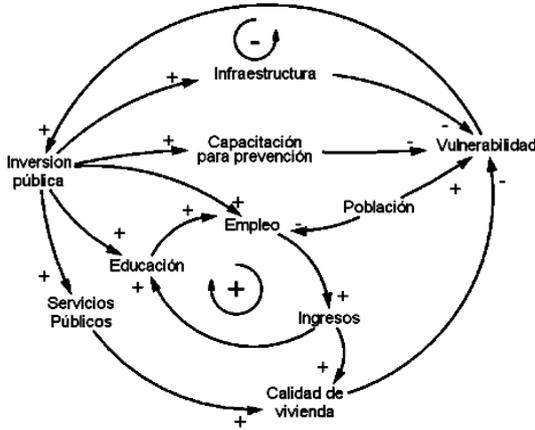
La alta densidad poblacional y de vivienda sumada a la pobreza de los habitantes de la zona Nororiental de Medellín generan la formación de asentamientos

subnormales, en donde las personas se ubican sin planificación en terrenos pendientes e inestables y en cercanías a quebradas. En dicha zona, existen viviendas construidas con materiales inadecuados y carencia de servicios públicos, ocasionando problemas ambientales, socioeconómicos, culturales y de ocupación que contribuyen a la ocurrencia de desastres naturales [5][6].

Con el fin de gestionar la atención y prevención de desastres naturales en Medellín, la Administración Municipal ha incorporado la prevención de emergencias a los sistemas de planificación y gestión local, al igual que la estructura operativa para la atención en caso de que se presenten, destinando recursos a actividades de preparación, auxilio, rehabilitación y reconstrucción[7][8]. Sin embargo, las políticas de intervención pueden resultar insuficientes si no se consideran aspectos sociales, geográficos, económicos y culturales de manera integrada para la toma de decisiones, ocasionando una visión parcial del problema y soluciones limitadas del mismo.

3. Conceptualización causal del problema

Figura 1. Diagrama causal del modelo de prevención de desastres naturales



La figura 1 muestra el diagrama causal, que representa el modelo del sistema donde se conjugan datos demográficos, estadísticos, socioeconómicos; con el fin de determinar los principales factores asociados a la vulnerabilidad de la población en estudio frente a desastres naturales[9].

De acuerdo al diagrama causal, un aumento poblacional ocasiona una mayor demanda de empleo, desmejora los ingresos económicos de las familias y disminuye las posibilidades educativas, generando de esta manera una realimentación negativa sobre el sistema[10].

El aumento de habitantes, las deficiencias en infraestructura y servicios públicos y la falta de capacitación de la población disminuyen a su vez la capacidad del sistema de autorregularse y transformarse ante potenciales amenazas, haciéndolo más vulnerable a la ocurrencia de desastres.

La vulnerabilidad esta asociada a factores físicos (edificaciones, vías, servicios públicos), sociales (crecimiento poblacional, educación, capacitación para la prevención) y económicos (ingresos, empleo, vivienda). Entre estos factores de vulnerabilidad se han definido relaciones de causalidad que determinan el comportamiento del sistema permitiendo identificar situaciones de riesgo a desastres naturales. La adecuada intervención de los elementos del sistema, a través de políticas de intervención formuladas por el gobierno, puede reducir la vulnerabilidad de la población y por ende el riesgo a sufrir un desastre.

4. Método de solución

El método utilizado tiene como finalidad evaluar políticas de intervención para la prevención de desastres naturales a través del control de la vulnerabilidad de la población bajo estudio. Luego de recopilar y clasificar la información necesaria para seleccionar las variables relacionadas a desastres, se sustenta el análisis de vulnerabilidad como elemento clave para la prevención [11] y se emplea la metodología de análisis de vulnerabilidad del proyecto COL 88/010 [12], definido bajo un conjunto de variables calificativas establecidas a partir de la opinión de diferentes expertos en el tema [13].

Una vez fundamentada la metodología de análisis de vulnerabilidad y clasificada la información, se desarrolla un diagrama causal que permita una mejor comprensión al estudio de la vulnerabilidad. Se caracterizan las variables implicadas y se definen las políticas de intervención de acuerdo a los factores que contribuyen a la ocurrencia de desastres[12][14]. Ya definidos todos estos elementos, se desarrolla el modelo matemático (mediante un diagrama de Forrester) que evalúa cuantitativamente, el comportamiento de todas las variables involucradas y permite adoptar medidas que controlen el comportamiento de las mismas.

Para validar la consistencia del modelo, se parte de la definición de la línea base, que representa el estado actual del sistema, construido a partir de los datos obtenidos en el Departamento Administrativo de Planeación Metropolitana.

Los datos disponibles fueron validados con los resultados de la simulación a través de una prueba t, suponiendo muestras con varianzas desconocidas pero diferentes, y verificando que el valor absoluto del estadístico t, sea inferior al valor crítico de t para dos colas para cada una de las variables del modelo, llegando a la conclusión de que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y por lo tanto los resultados del modelo matemático y los informados por el Municipio de Medellín son iguales [15].

Una vez evaluada la consistencia, se procede a simular dos escenarios cada uno con dos políticas de intervención. Fue desarrollada una aplicación que utiliza las bondades de la Dinámica de Sistemas para la simulación y usa un componente geográfico para la visualización de los resultados en un mapa de la zona en estudio, en donde la propiedad de degradación de color permite determinar cuan alta es la vulnerabilidad, en donde una mayor intensidad de color indica mayor valor de la variable evaluada en el modelo de simulación.

Una vez establecidas las políticas, se procede a analizar los resultados sobre las variables de comportamiento más sensible en el proceso de simulación, y de esta manera, se determinan las

conclusiones correspondientes, teniendo en cuenta la línea base, y los dos escenarios de simulación propuestos.

5. Resultados

Con el objeto de evaluar alternativas de solución que favorezcan la reducción de la vulnerabilidad, se establecieron dos políticas de intervención (inversiones representadas en millones de pesos) una destinada a la generación de empleo y la otra, al desarrollo de obras complementarias (acciones y proyectos cuyo fin es fortalecer la prevención de desastres).

Período de simulación: 1997-2050.

Primer escenario: Se asumió la generación de 500 empleos, con un costo de inversión de 500 millones de pesos anuales (reflejada en créditos, microempresas, capacitaciones, banco de las oportunidades)¹. Para la prevención de desastres (a través de obras complementarias) se realizó una inversión por valor de 420 millones de pesos² anuales.

Segundo escenario: Se duplicó la inversión en empleo con respecto al primer escenario, es decir, 1000 millones de pesos anuales. Para obras complementarias se realizó una inversión de 500 millones de pesos anuales.

La siguiente tabla muestra la calificación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad (VLN_, en las figuras corresponde al valor de Y):

Tabla 1. Calificación de la vulnerabilidad a desastres naturales

Calificación de la vulnerabilidad	
1.0 – 1.5	Muy baja
1.5 – 2.5	Baja
2.5 – 3.5	Media

¹ Según el Plan de Desarrollo de Medellín 2004-2007, se ha destinado una inversión de 61.773 millones en el plan de inversiones para el fortalecimiento del empleo (equivalente al 1.7% de participación en el presupuesto total del Plan de Desarrollo Municipal).

² Esta cifra de inversión en obras complementarias fue estimada a partir del presupuesto participativo desagregado para el año 2005, que para toda la zona Nororiental se tiene destinada una inversión de 20.701 millones de pesos, lo que representa el 28% de participación en el presupuesto total.

3.5 – 4.0	Media Alta
4.0 – 4.5	Alta
4.5 – 5.0	Muy Alta

A continuación se presenta el análisis general de la simulación de la línea base y los dos escenarios descritos anteriormente.

Figura 2. Vulnerabilidad total. Línea base

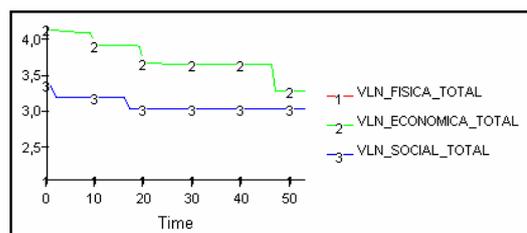


Figura 3. Vulnerabilidad total. Primer escenario

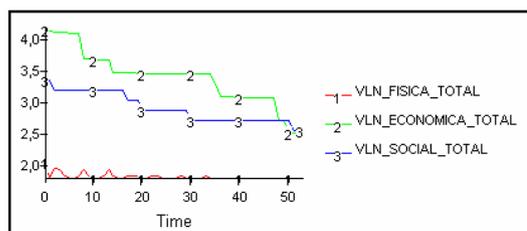
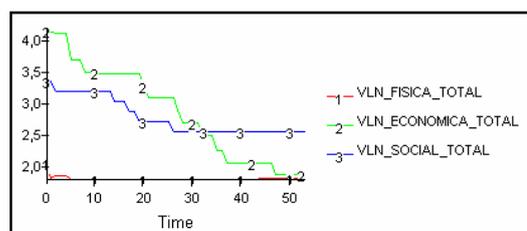


Figura 4. Vulnerabilidad total. Segundo escenario



De acuerdo a las figuras 2, 3 y 4 La vulnerabilidad física total (VLN_FISICA_TOTAL) presenta una leve disminución entre la línea base y los dos escenarios de simulación propuestos. Este cambio se debe a la inversión realizada en obras complementarias para la prevención de desastres, su comportamiento cíclico en el primer escenario (que desaparece a partir del año 35 de simulación) se debe a que la inversión de 420 millones de pesos realizada anualmente no es suficiente en obras complementarias (obras de protección, mitigación y prevención, recuperación de laderas, muros de contención, canalización quebradas, reforestación).

El segundo escenario presenta una reducción más temprana en VLN_FISICA_TOTAL (inversión de

500 millones de pesos) estabilizándose a partir del quinto año, esta notable reducción fue lograda gracias a un incremento anual de 80 millones de pesos en obras complementarias.

La vulnerabilidad económica total (VLN_ECONOMICA_TOTAL) varía de forma escalonada entre la línea base y los dos escenarios de simulación previamente planteados gracias a la inversión efectuada en generación de empleo. Al cabo de ocho años, la vulnerabilidad en la línea base logró una reducción de 4.2 a 3.9, el primer escenario redujo hasta 3.7 (inversión de 500 millones de pesos).

Para el segundo escenario, se logró una reducción hasta 3.4, demostrando que la generación de nuevas oportunidades de empleo hace a la población menos vulnerable en el aspecto económico. Al cabo de 50 años la reducción obtenida en la línea base llega al 3.4, el primer escenario obtiene un valor de 2.7 y el segundo escenario logra una excelente reducción de 4.2 hasta 1.9, es decir, la vulnerabilidad económica pasa de alta a baja.

En figuras 2, 3 y 4, para un periodo de 50 años, la vulnerabilidad social total (VLN_SOCIAL_TOTAL) presenta una ligera disminución en la línea base (nivel medio) variando de 3.4 a 3.2. Por su parte, el primer escenario varía de 3.4 a 2.7 (nivel medio) mientras que el segundo escenario logra igual disminución pero en un periodo de tiempo menor.

6. Conclusiones

La simulación permite en poco tiempo y con un bajo costo, comprender la dinámica del fenómeno ante diferentes variaciones de acciones y políticas de intervención.

En esta investigación se identificaron factores físicos, sociales y económicos que definen la vulnerabilidad de la población frente a desastres naturales, con el fin de intervenirlos a través del establecimiento de políticas adecuadas que permitan minimizarlos y de esta manera evitar un desastre.

Es posible evitar el desastre interviniendo adecuadamente la vulnerabilidad, ya que es un elemento que está asociado a la presencia de un evento desastroso; además, está directamente relacionado con las características propias de la población que puede ser afectada.

La componente de error e incertidumbre asociada al desarrollo del modelo se debe a dos factores: en primer lugar, la información disponible contaba con pocos datos y en segundo lugar, algunas variables que podían influir en el modelo, no fueron tenidas en cuenta ya que no existían datos o no era posible acceder a los mismos.

7. Referencias

- [1] FERNÁNDEZ, María Augusta. Ciudades en riesgo. Lima, Perú. La Red, 1996. p.192.
- [2] MASKREY, Andrew, El Manejo Popular de los Desastres Naturales. Estudios de Vulnerabilidad y Mitigación, ITDG, Lima 1989.
- [3] CONFERENCIA INTERAMERICANA SOBRE REDUCCIÓN DEL RIESGO DE LOS DESASTRES. Reflexiones y propuestas para mejorar la efectividad de la gestión. Manizales, Colombia. Noviembre de 2004.
- [4] ARACIL, Javier. Introducción a la Dinámica de Sistemas. Alianza Editorial, Madrid. 1986.
- [5] ALCALDÍA DE MEDELLÍN. Justificación del plan parcial "Plaza de ferias" en el marco del plan de ordenamiento territorial de Medellín, acuerdo 62 de 1999, Medellín, 1999.
- [6] MUNICIPIO DE MEDELLIN, MI RIO, PNUD. Levantamiento integrado de cuencas hidrográficas del Municipio de Medellín. Medellín, 1994.
- [7] ALCALDÍA DE MEDELLÍN. Secretaría del medio ambiente. SIMPAD. Comités barriales. La prevención en la cultura de los ciudadanos. Medellín, 2005.
- [8] ALCALDÍA DE MEDELLÍN. Secretaría del medio ambiente. SIMPAD. Cómo elaborar un plan escolar de prevención de desastres. Medellín, 2005.
- [9] CARDONA, Omar Darío. La prevención de desastres y mitigación de riesgos en la planificación del desarrollo. 1993.
- [10] DREW, Donald R. Dinámica de sistemas aplicada. Editorial: ISDEFE. Primera edición, Madrid, España, 1995
- [11] CARDONA, Omar Darío. Evaluación de la Amenaza, Vulnerabilidad y el Riesgo, Taller Regional de capacitación para la administración de desastres ONAD/PNUD/OPS/UNDDRO, Bogotá, 1991.
- [12] ALCALDÍA DE MEDELLÍN, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) Proyecto COL88/010. Metodología para el análisis preliminar de la vulnerabilidad para el Municipio de Medellín., 1990.
- [13] ALCALDÍA DE MEDELLÍN, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), La prevención de desastres y el desarrollo de Medellín. Proyecto COL 94/012. 1997.

[14] SALDARRIAGA, Ricardo. Inventario y sistematización de los Desastres Naturales reportados en los municipios del Valle de Aburrá, entre los años 1900 y 2002., Proyecto de grado en Geología. Universidad EAFIT, Medellín, 2003.

[15] MONTGOMERY, D.C. y RUNGER G.C.. Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería , Primera Edición, Mc Graw Hill.1996

Modelo de Simulación de Impactos Ambientales

González Londoño, Yessica Catalina, Gómez Sánchez, Diego Fernando
 yescata@yahoo.com , diegogomez@epm.net.co
 Fundación ECSIM – Centro de Estudios en Economía Sistémica

Resumen— El Modelo de Simulación de Impactos Ambientales tiene por objetivo establecer los escenarios de impacto ambiental por emisión de gases, consumo y vertimiento de aguas y desechos sólidos, para la expansión de la actividad económica y del consumo de las familias. Para el cálculo de la contaminación atmosférica de las fuentes móviles se consideraron los factores de emisión del estudio CORINAIR y los datos del parque automotor del Valle de Aburrá. En cuanto a los residuos sólidos se tomo como base el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), en cabeza del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Por último, para el consumo y vertimiento de agua se consideraron las viviendas totales y los sectores económicos.

Índice de Términos—Residuos Sólidos, Consumo y Vertimiento de Aguas, Contaminación de Aire, Ingreso, Sectores Económicos.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la Revolución Industrial, el desarrollo económico ha estado ligado al aumento del consumo de combustibles fósiles. De igual manera, el principal impacto de la población sobre el medio ambiente ha estado relacionado con dos variables fundamentales: El consumo de recursos y la producción de desperdicios y de contaminantes. A raíz de esto, surgen preguntas como las siguientes: ¿El crecimiento económico se logra a través de una mayor degradación ambiental?, ¿Es posible aumentar el Ingreso per cápita sin generar un mayor deterioro ambiental?

Hoy en día, es claro que el planeta no es capaz de soportar indefinidamente los impactos ambientales que el actual orden económico internacional genera de manera continua, que los recursos naturales no son bienes ilimitados y que el mal manejo de

residuos conlleva un grave riesgo para la salud de todos.

De ahí que el crecimiento económico y la protección ambiental, aspectos de gran importancia, sean considerados y tratados en la actualidad como complementarios. De hecho, sin una protección adecuada del medio ambiente, el crecimiento se ve menoscabado y sin crecimiento fracasa la protección ambiental.

Con el siguiente trabajo se pretende estudiar la relación que existe entre el crecimiento económico de una región y la calidad ambiental, pues la población y los sectores industriales, en el desarrollo de sus actividades diarias, traen consigo considerables impactos ambientales.

II. MARCO TEÓRICO

A. Crecimiento Económico y Calidad Ambiental

Durante los años 70, el crecimiento económico y la calidad ambiental, eran dos aspectos vistos como contrapuestos, idea que fue planteada en *Los Límites del Desarrollo* del Club de Roma. Posteriormente, a mediados de la década de los ochenta, se comenzaron a considerar inseparables los aspectos que afectan al desarrollo económico y al medio ambiente, introduciéndose la noción de desarrollo sostenible, para la cual se admite, hoy en día, la definición dada por la Comisión Mundial sobre Desarrollo y Medio Ambiente, en la que se considera como: *Un desarrollo capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la posibilidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias* [1].

En la actualidad, el debate sobre desarrollo sostenible plantea como complementarios el crecimiento económico y el medio ambiente, en

donde juega un papel importante la relación entre calidad ambiental, salud humana y creación de empleo. Ello ha permitido evolucionar notablemente en las bases de discusión y elaboración de políticas ambientales.

B. Impacto Ambiental

Se entiende por impacto ambiental la alteración positiva o negativa de la calidad ambiental, provocada o inducida por cualquier acción del hombre.

Entre los principales problemas que tienen las grandes ciudades se encuentran: ocupación desordenada del territorio, pérdida de áreas verdes, contaminación del agua y el aire, y residuos sólidos mal manejados, que tienden a afectar la calidad [2].

Según estudiosos del tema, en la medida en que la población reduzca sus niveles de pobreza, la naturaleza de los problemas ambientales cambia. Por ejemplo, un nivel bajo de desarrollo económico está asociado a un aprovisionamiento limitado de servicios básicos, contaminación de aire y degradación del suelo por falta de tecnología y medidas apropiadas. Las ciudades con mayores niveles de ingreso y desarrollo económico, sufren de contaminación de aire, por fuentes industriales y energéticas, así como el manejo inadecuado de residuos tóxicos.

C. Generación de Residuos Sólidos

La generación de residuos sólidos urbanos está asociada a los patrones de consumo de la población. Sectores de la población de altos ingresos tienden a tener una generación mayor de desechos sólidos y por lo general con una mayor proporción de desechos que no son biodegradables. En general, los desechos han pasado de ser basura densa y prácticamente orgánica a basura voluminosa y cada vez menos biodegradable. Los hogares y las actividades económicas cada vez desechan mayor cantidad de aluminio, cartón, plástico y papel [2].

Según estudios de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) entre 1992 y 1993 hubo un incremento anual de la generación de residuos de 1 a 3% ligado al aumento del ingreso per cápita. El JICA presenta la siguiente generación

de residuos sólidos municipales en función de los ingresos de los países [3]:

Países de bajos ingresos	0,4 - 0,6 kg./hab./día
Países de ingresos medios	0,5 - 0,9 kg./hab./día
Países de altos ingresos	0,7 - 1,8 kg./hab./día

Los problemas del manejo inadecuado de los residuos sólidos en las ciudades no sólo afectan la salud humana, están también relacionados con la contaminación atmosférica, del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas. Además, el inadecuado manejo genera el deterioro estético de los centros urbanos y del paisaje natural de muchas ciudades. Así como de sus zonas rurales, donde son dispuestos muchos de estos desechos.

Es por ello que los objetivos principales del manejo de residuos sólidos municipales son la protección y el mejoramiento de la salud humana y del entorno ambiental a través de la reducción de la exposición de los seres humanos a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades, como consecuencia del manejo inadecuado de los residuos sólidos.

D. Contaminación Atmosférica

En muchas ciudades, una proporción importante de la contaminación atmosférica proviene de los automóviles, las viviendas y las emisiones industriales.

Con base en informes presentados a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, existe una relación constante entre el ingreso nacional per cápita y la severidad de la regulación ambiental. Según un estudio reciente del Banco Mundial, el nivel de contaminación del agua por sustancias orgánicas (cantidad por unidad de producción industrial) disminuye 1% con cada aumento del 1% en el ingreso per cápita. El estudio se basa en gran cantidad de datos de organismos ambientales de Brasil, China, Corea, Estados Unidos, Filipinas, Finlandia, India, Indonesia, México, Países Bajos, Sri Lanka, Tailandia, y Taiwán (China). En general, la información revela que el nivel de contaminación se reduce en un 90% cuando el ingreso per cápita pasa de US\$500 a

US\$20.000 [4].

En el estudio se demuestra que el desarrollo económico tiene efectos paralelos en el nivel de contaminación del agua por sustancias orgánicas: una reglamentación más severa y una mayor eficiencia productiva reducen la contaminación por unidad de producción. En consecuencia, en la India una fábrica de papel emplea, como promedio, muchos más trabajadores y genera mucha más contaminación que una fábrica estadounidense de la misma capacidad.

Por otro lado, el vínculo entre crecimiento económico y aumento del consumo de energía, acompañado de un incremento en las emisiones de dióxido de carbono, es directo y positivo en los países de ingreso bajo y de ingreso mediano. Pero con niveles de ingreso elevados, hay indicios de una reducción del consumo de energía per cápita y de la contaminación per cápita a pesar del crecimiento económico. Ello ocurre porque la energía se utiliza con mayor eficiencia y se introducen tecnologías menos contaminantes. Además, una economía de ingreso alto tiene, por lo general, un sector de servicios proporcionalmente más grande, el cual requiere un uso menos intensivo de la energía que el sector industrial.

E. Situación en el Valle de Aburrá

El Valle de Aburrá se encuentra ubicado en la Cordillera Central en el Departamento de Antioquia. Posee una extensión de 1.152 km². La conformación del Valle de Aburrá, es el resultado de la unidad geográfica, determinada por la cuenca del río Aburrá que lo recorre de sur a norte. Los municipios que lo conforman son: Barbosa, Bello, Caldas, Envigado, La Estrella, Girardota, Itagüí, Medellín, Sabaneta y Copacabana.

En el Valle de Aburrá, el tema ambiental recién comenzó a figurar en un primer plano en los programas de gestión municipal y su saldo está en relación directa con diversos problemas, entre los que sobresalen [5].

- Contaminación del aire, destacándose el monóxido de carbón emitido principalmente por el parque automotor.
- Niveles de ruido por encima de los estándares

permisibles o deseados.

- Contaminación del recurso hídrico, debido al vertimiento de residuos líquidos y sólidos por parte del sector industrial y residencial tanto en el río Medellín como en diversas quebradas y arroyos afluentes de éste.
- Falta de tratamiento integral a lo largo del proceso que va desde la generación de residuos sólidos hasta la disposición final de los mismos.

Como se puede ver, no son pocos los problemas ambientales, y más si se tiene en cuenta que esta región cada día crece más. Es importante tomar medidas sobre los impactos ambientales y hacer uso de diversos modelos para hacer una gestión eficiente.

III. MODELOS DE IMPACTOS AMBIENTALES DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

A continuación se presentan, con su respectiva explicación, dos diagramas causales sobre el tema de impactos ambientales. Algunas de las ideas representadas en dichos diagramas causales se consideran en el modelo propuesto por la Fundación ECSIM.

A. Efectos de la aglomeración de basura

Este modelo fue desarrollado por profesores del Instituto Tecnológico de Sonora en México¹ para representar el comportamiento dinámico del sistema de recolección de basura en una ciudad. Se simuló el modelo con el software Vensim Ple Plus y se validó con datos de la ciudad de Obregon, Sonora [6]. A continuación Fig. 1 se presenta el diagrama causal obtenido de este estudio:

¹ Ernesto Alonso Lagarda Leyva (Profesor Investigador, Maestro en Ingeniería (Optimización de Sistemas Productivos) y Ma. Guadalupe Paz Acosta Quintana (Profesor-Investigador, Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas)

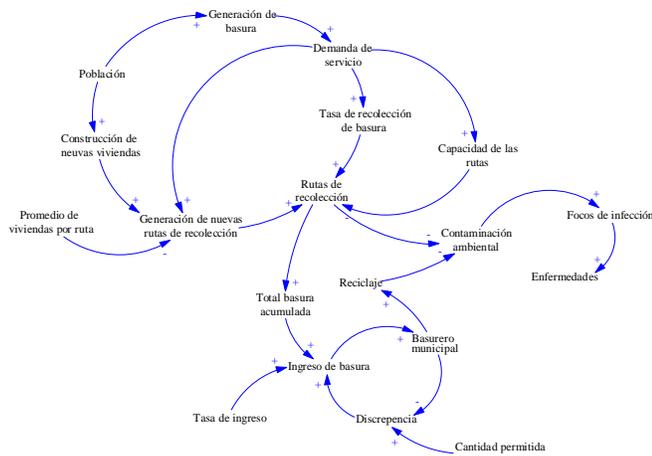


Fig. 1 : Efectos de la Aglomeración Basura

En la Fig. 1 se puede ver que un incremento de la población trae consigo una mayor generación de basura, lo cual genera una mayor demanda del servicio de recolección de basuras. Dependiendo de la tasa de recolección y la capacidad de las rutas encargadas de esta labor se presenta más o menos contaminación en la región, lo cual termina afectando la salud humana.

B. Desarrollo y Medio Ambiente

Donald Drew², en uno de sus libros: *Dinámica de Sistemas Aplicada* estudia, aunque no con mucha profundidad, el tema ambiental de una ciudad. A continuación se presentan algunas variables y sus relaciones de acuerdo a las ideas expuestas en su libro [7]:

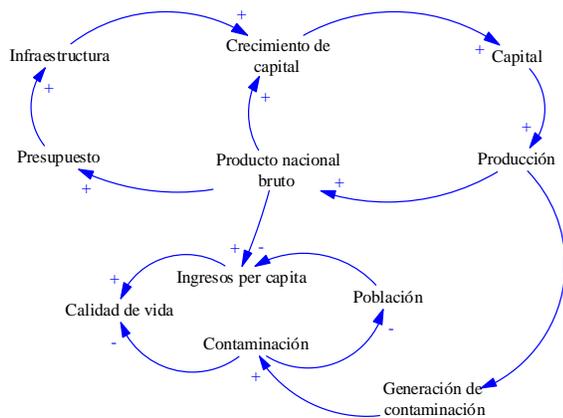


Fig. 2 : Desarrollo y Medio Ambiente

Según el diagrama causal de la Fig. 2, el

crecimiento económico trae consigo mayor contaminación. Es así como un incremento en la producción genera mayor contaminación, afectando la calidad de vida de la población, que se ve balanceada por el incremento del ingreso per cápita.

IV. DIAGRAMA CAUSAL DE IMPACTOS AMBIENTALES PLANTEADO POR ECSIM

Con base en los dos diagramas causales expuestos se obtuvo el siguiente modelo (Ver Fig. 3), el cual intenta ilustrar la relación existente entre el crecimiento económico y los impactos ambientales.

² Profesor de Ingeniería en la Universidad Estatal y el Instituto Politécnico de Virginia. Tiene más de 10 años de experiencia como ingeniero de diseño y proyectos, y más de 30 años como profesor de Ingeniería de Sistemas.

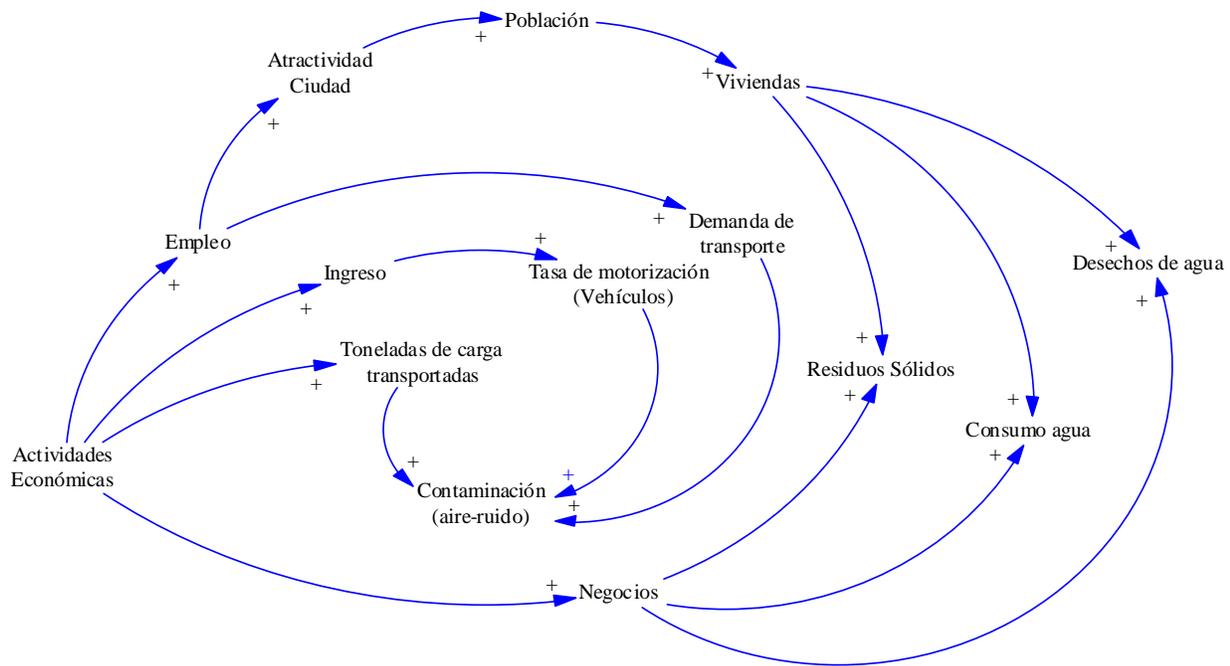


Fig. 3 : Diagrama Causal – Impactos Ambientales

En este diagrama causal se exponen las siguientes ideas:

- 1) Los tres elementos que generan un mayor impacto ambiental son el transporte, las viviendas y las actividades económicas.
- 2) Mientras más población activa haya en una ciudad, mayor es la demanda de transporte, y por tanto hay una mayor contaminación en términos de ruido y aire.
- 3) El número de camiones que deben desplazarse diariamente para cumplir con el desarrollo de diversas actividades económicas contaminan en grandes cantidades.
- 4) Un mayor ingreso implica generalmente una mayor tasa de motorización trayendo consigo un gran impacto ambiental.
- 5) Mientras más población haya en una ciudad, y por tanto viviendas y negocios, mayor es la cantidad de residuos sólidos generados, y el consumo y vertimiento de aguas.

V. PROPUESTA DE MODELO DE SIMULACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Este modelo de simulación tiene como objetivo establecer, para la expansión de la actividad económica y del consumo de las familias, los

escenarios de impacto ambiental por emisión de gases, consumo y vertimiento de aguas, y desechos sólidos.

El modelo se convierte en un calculador de los totales de contaminación, residuos sólidos, consumo y desechos de agua generados por la población, cada una de las modalidades de transporte y cada uno de los sectores de la economía.

En este punto es importante anotar que, bajo el enfoque de la Resolución 1045 de 2003, por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), el Área Metropolitana del Valle de Aburrá³, en ejercicio de sus competencias como ente planificador y entidad responsable de la gestión ambiental en el área urbana de la región metropolitana, se ha dado a la tarea de formular un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional (PGIRS-R) articulado a y articulador de los PGIRS Locales. La construcción de un modelo de manejo de residuos sólidos a través de Dinámica de Sistema es uno de los compromisos, y es por ello que a este trabajo se articula el proyecto PGIRS.

³ Entidad Administrativa gestora del desarrollo de la Región del Valle de Aburrá.

A. Hipótesis del Modelo

Para estudiar las variables y sus relaciones en las dinámicas ambientales, es importante conocer las hipótesis del modelo, las cuales se plantean a continuación:

- 1) Las diferentes alternativas de transporte generan distintas cantidades de contaminación.
- 2) Para el cálculo de la generación de residuos sólidos, y el consumo y desecho de agua se tienen en cuenta sólo las viviendas y las actividades económicas.
- 3) Cada decil de población⁴, al igual que cada sector de la economía, generan impactos ambientales diferentes.

B. Emisión de Gases

A continuación se presenta el esquema general del cálculo de la contaminación total en el modelo de simulación de impactos ambientales:

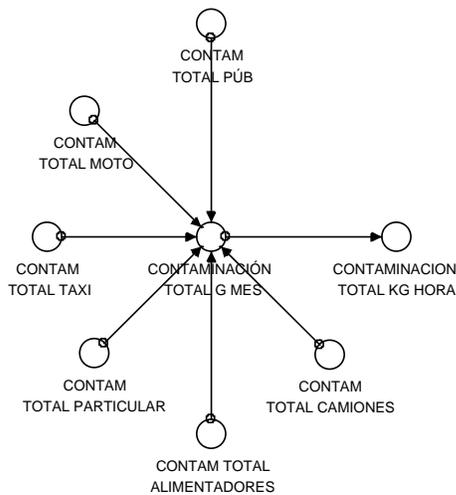


Fig. 4 : Contaminación Total

La contaminación total del Valle de Aburrá se halla como la sumatoria de las contaminaciones de cada una de las modalidades, y estas contaminaciones se hallan teniendo en cuenta los gramos de monóxido de carbono emitidos por kilómetro recorrido, kilómetros promedio recorridos al día y la cantidad de vehículos de cada modalidad en el año inicial de simulación – 2004 (Ver Tabla I).

TABLA I
PARQUE AUTOMOTOR – VALLE DE ABURRÁ

ALTERNATIVA DE TRANSPORTE	VEHÍCULOS ACTIVOS EN EL VALLE DE ABURRÁ (2004)
Buses	7,080
Automóviles	285,019
Taxis	26,831
Motos	114,480
Camiones	23,806

Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá

El esquema general del Diagrama de Forrester del modelo para obtener la contaminación generada por fuentes móviles es el siguiente:

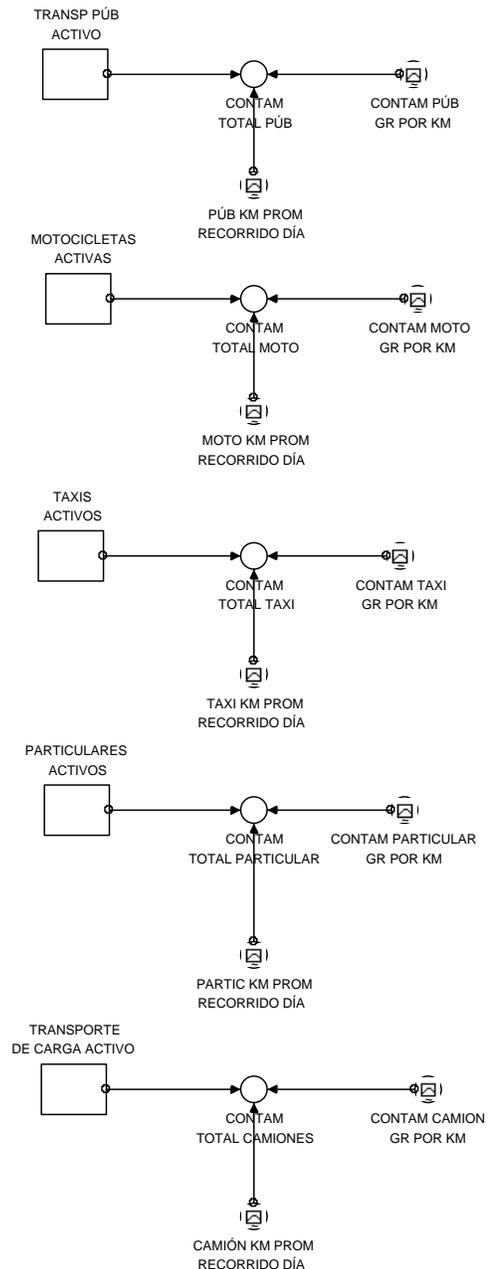


Fig. 5 : Contaminación generada por las Fuentes Móviles

⁴ Un decil de población corresponde a un diez por ciento (10%) de ésta. Es así como el decil 1 corresponde al 10% de la población con menos ingresos al año y el decil 10 al 10% de la población con mayores ingresos al año.

Los datos ingresados inicialmente son con base en los factores de emisión europeos CORINAIRE [8], pues actualmente no existen estudios completos sobre contaminación para todas las modalidades de transporte, pues aún cuando recientemente se hizo un estudio de contaminantes en los municipios del Valle de Aburrá, esto fue hecho sólo para vehículos particulares (Ver Tabla II).

TABLA II.
FACTORES DE EMISIÓN CORINAIRE

MODELO VEHÍCULO	TIPO DE VÍA	CATEGORÍA VEHÍCULO	FACTOR DE EMISIÓN VEHICULAR EN CALIENTE (g/km recorrido) CO	
AÑO > 1986	30 km/h	Autos	11.81	
		Buses	4.69	
		Camiones	3.51	
		Motos	22.36	
		Autos	8.16	
		Buses	3.47	
	45 km/h	Camiones	2.65	
		Motos	23.82	
		Autos	5.64	
		Buses	2.80	
		60 km/h	Camiones	2.17
			Motos	24.14

Para el cálculo de la generación de residuos residenciales se tuvo en cuenta la población total del Valle de Aburrá (Ver Tabla III), la generación per capita por estrato social (Ver Tabla IV) y el ingreso per capita tal como se muestra en la Fig. 7⁶.

TABLA III.
POBLACIÓN TOTAL POR MUNICIPIOS – VALLE DE ABURRÁ

POBLACIÓN TOTAL (2004)	
Valle de Aburrá	3,523,239
Medellín	2,350,227
Barbosa	39,066
Bello	400,291
Caldas	74,208
Copacabana	57,184
Envigado	175,085
Girardota	40,404
Itagüí	288,207
La Estrella	57,269
Sabaneta	41,298

Fuente: Fundación Social - Medellín

C. Residuos Sólidos

El diagrama de Forrester de los residuos residenciales se presenta en la Fig. 6⁵.

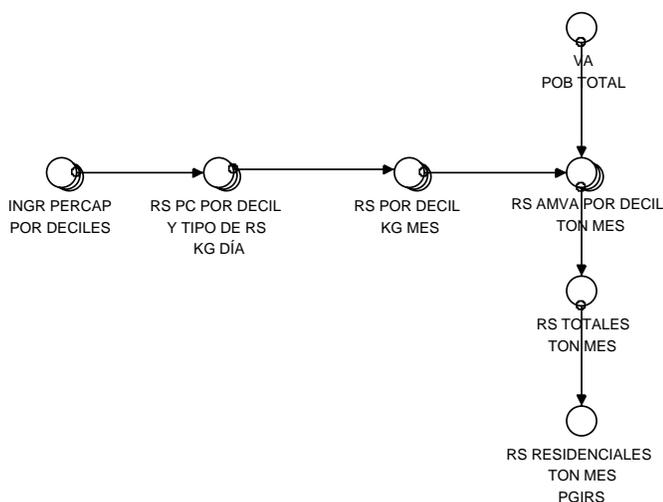


FIG. 6
RESIDUOS SÓLIDOS RESIDENCIALES

Donde el significado de las variables es el siguiente

TABLA IV.
PRODUCCIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS POR ESTRATO VALLE DE ABURRÁ

ESTRATOS	1	2	3	4	5	6
Materia Orgánica	0,25	0,23	0,33	0,37	0,48	0,50
Plástico	0,06	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08
Papel	0,04	0,04	0,06	0,09	0,08	0,08
Cartón	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Vidrio	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04
Metales	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
Textiles	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Otros	0,03	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
Total	0,43	0,45	0,56	0,67	0,75	0,78

Fuente: PGIRS – Área Metropolitana del Valle de Aburrá

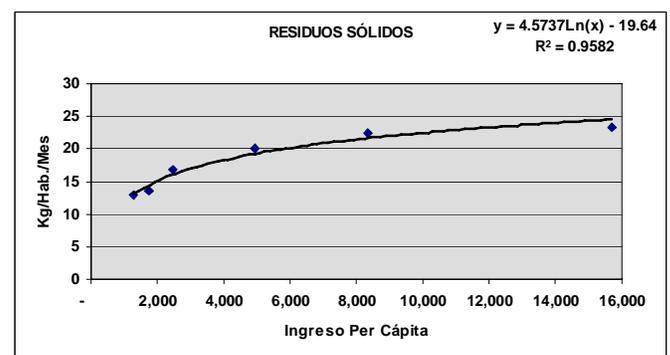


FIG. 7

⁵ Un decil es un 10% de la población clasificada según el ingreso. De esta manera, el decil 1 corresponde al 10% de la población con menor ingreso y el decil 10 corresponde al 10% de la población con mayor ingreso.

⁶ Esta gráfica se calculó a partir de los datos de ingreso per cápita arrojados por la Encuesta de Calidad de Vida 2004 realizada en el municipio de Medellín.

GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS SEGÚN INGRESO

En cuanto a la generación de residuos sólidos por parte de los sectores económicos se tuvo en cuenta los datos de la Tabla V.

TABLA V.
PORCENTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS POR USOS

USOS	%
Doméstico	67.37%
Comercial	9.08%
Industrial	6.84%
Institucional	4.38%
Construcciones	6.34%
Otros	6.00%
Total	100%

Fuente: PGIRS – Área Metropolitana del Valle de Aburrá

D. Consumo y Vertimiento de Agua

En la Fig. 8 se presenta la estructura general para el cálculo de consumo y vertimiento de agua residencial. Se tuvo en cuenta el consumo y vertimiento por vivienda según el ingreso del hogar al año (Ver Fig. 9 y Fig. 10), y el número de viviendas totales en el Valle de Aburrá.

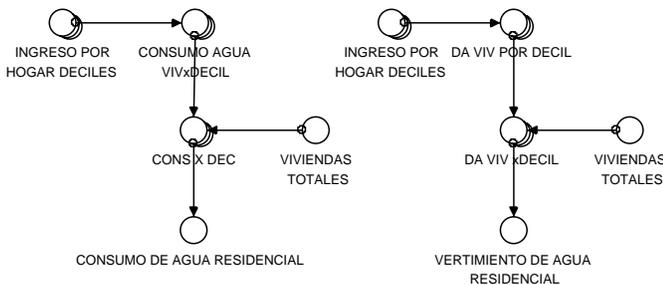


FIG. 8
CONSUMO Y VERTIMIENTO DE AGUA RESIDENCIAL

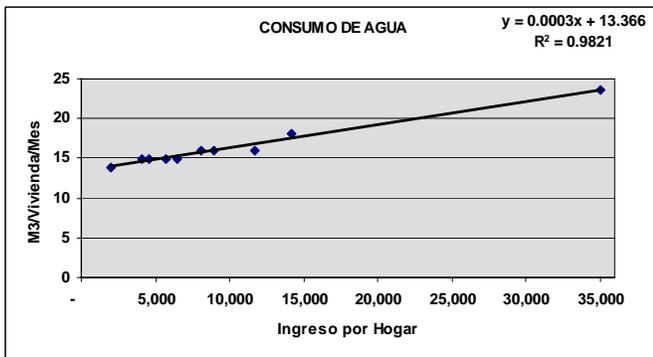


Fig. 9 : Consumo de Agua Residencial según Ingreso

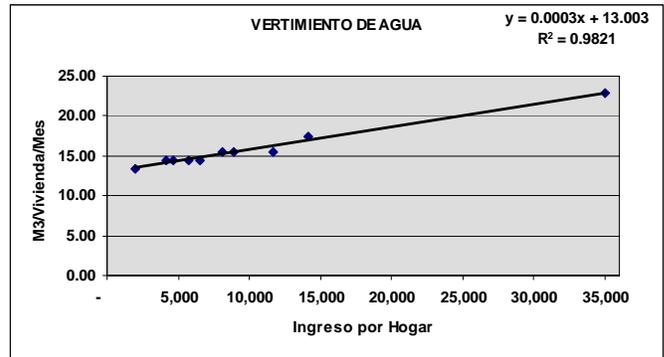


Fig. 10 : Vertimiento de Agua Residencial según Ingreso

Para el cálculo de la cantidad de agua consumida y vertida por parte de los sectores económicos se consideraron los porcentajes que se presentan en la Tabla VI.

TABLA VI
PORCENTAJE DE CONSUMO Y VERTIMIENTO DE AGUA POR USOS

USOS	%
Residencial	90.78%
Comercial y/o industrial	8.03%
Sector público	0.31%
Otros	0.87%
Total	100%

Fuente: Banco Mundial

E. Resultados

Este modelo ha sido entregado al Área Metropolitana del Valle de Aburrá (patrocinador del trabajo), para ser aplicado como herramienta de planeación y toma de decisiones metropolitanas.

A continuación se presentan algunas de las gráficas obtenidas de una simulación tendencial (Ver Fig. 11-Fig. 14).

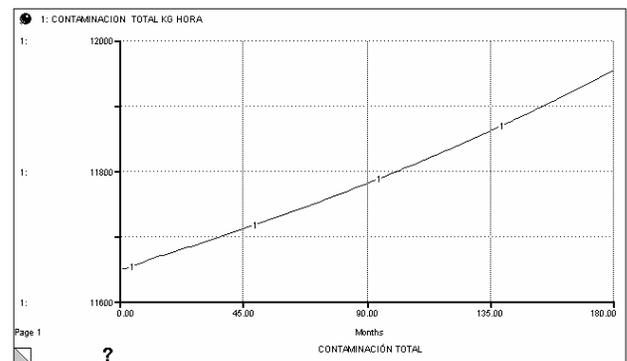


Fig. 11: Contaminación Total – Valle de Aburrá (2004 – 2019)

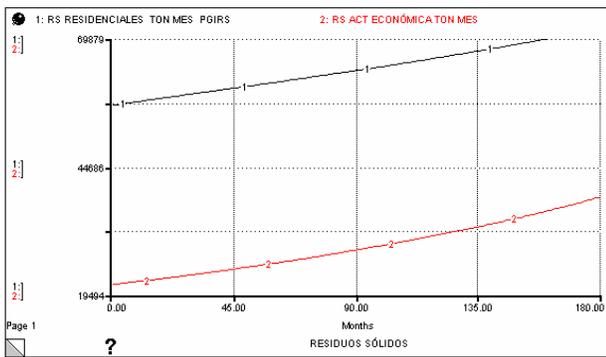


Fig. 12 : Residuos Sólidos Totales – Valle de Aburrá (2004 – 2019)

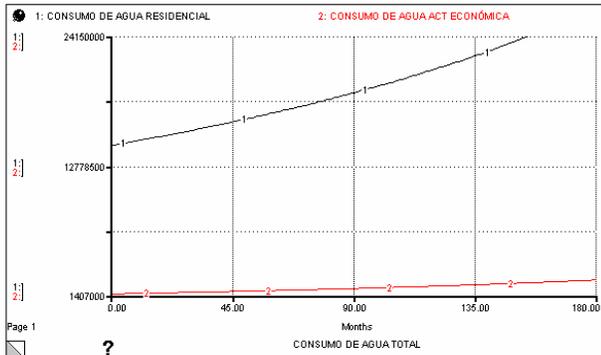


Fig. 13: Consumo de Agua Total – Valle de Aburrá (2004 – 2019)

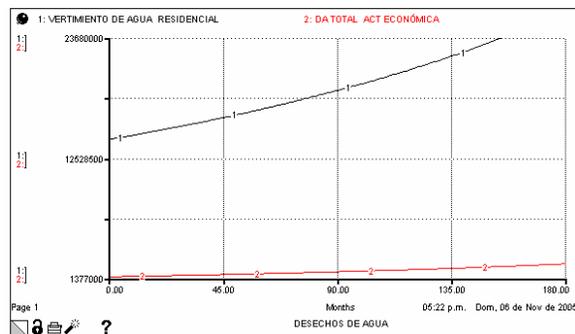


FIG. 14

VERTIMIENTO DE AGUA TOTAL – VALLE DE ABURRÁ (2004 – 2019)

VI. CONCLUSIONES

Dado que no se desconoce que en materia de contaminación atmosférica las fuentes móviles no son las únicas causantes del deterioro ambiental; se recomienda hacer un análisis más profundo de las variables, tanto internas como externas, que influyen sobre el ambiente, buscando aproximarse cada vez más a la comprensión de los efectos de las fuentes móviles y fijas.

RECONOCIMIENTO

La Fundación ECSIM agradece a la Alcaldía de Medellín, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Gobernación de Antioquia y la Cámara de Comercio de Medellín por el apoyo financiero y la información brindada para la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] L. Mantenga y C. Sunyer. “La Evaluación Ambiental Estratégica.” [En línea]. Disponible: <http://www.altraveu.org/antics/ma22.htm>. 2004.
- [2] E. Galarza y R. Gómez. “Análisis económico de los problemas ambientales urbanos.” [En línea]. Disponible: <http://www.worldbank.org/wbi/urban/docs/peru/ModuloII/Galarza%20Gomez%20An%20El%20Medio%20Ambiente.pdf>. 2003.
- [3] G. Acurio. “Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos Municipales en América Latina y el Caribe.” [En línea]. Disponible: www.iadb.org/sds/doc/ENV107ARossinE.pdf. 1997.
- [4] Banco Mundial. “¿Es la contaminación ambiental el precio del desarrollo?” [En línea]. Disponible: <http://www.worldbank.org/nipr/greening/spanish/spancap1.htm>. 1998.
- [5] J. J. García y E. Vásquez, “Calidad ambiental y su relación con el crecimiento económico en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá” en *Ecos de Economía*, No. 16, Medellín: marzo de 2003, pp. 27 - 48.
- [6] E. A. Lagarda Leyva y M. Paz Acosta Quintana. “Efectos de la aglomeración de basura en ciudad Obregón, Sonora, México (Aplicación de la metodología de Sistemas suaves y Dinámica de Sistemas)”. [En línea]. Disponible: www.catunesco.upc.es/ads/basura.pdf. 2004.
- [7] D. Drew, *Dinámica de Sistemas Aplicada*. Madrid, 1995.
- [8] M. V. Toro, J. J. Ramírez, R. A. Quiceno y C. A. Zuluaga. (2001). “Cálculo de la Emisión Vehicular de Contaminantes Atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión CORINAIR”. [En línea]. Disponible: <http://200.10.250.44/bvsci/E/fulltext/medellin/vehiculos.pdf>.

AUTORES

Yessica Catalina González Londoño

Ingeniera Administradora de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Actualmente Investigadora de la Fundación ECSIM, desarrollando modelos de simulación basados en Dinámica de Sistemas.

Diego Fernando Gómez Sánchez

Ingeniero de Producción de la Universidad EAFIT, con estudios de pregrado en Economía en la Universidad de Antioquia, y maestría en Economía en la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente hace estudios de

doctorado con énfasis en Dinámicas de Transformación Social en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional. Director de la Fundación ECSIM. Investigador y consultor en temas de desarrollo económico, gestión tecnológica y prospectiva económica y sectorial

Modelo de simulación de la evolución de la obesidad en la población de la Región Metropolitana de Chile

Oscar Vásquez Pérez

Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Santiago de Chile
Avenida Ecuador 3769, Estación Central, Santiago de Chile
oscar.vasquez@usach.cl

Miguel Alfaro Marchant

Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Santiago de Chile
Avenida Ecuador 3769, Estación Central, Santiago de Chile
malfaro@lauca.usach.cl

Resumen

Este artículo presenta un modelo de simulación que permite estudiar la evolución de la obesidad en la población de la región metropolitana de Chile. El modelo considera factores genéticos, socioeconómicos, psicológicos, enfermedades colaterales, y el metabolismo basal, entre otros. Se muestra el impacto económico que implica la situación actual y se simulan políticas de control de la epidemia, tales como: la ingesta alimenticia y el acceso subvencionado a los médicos nutricionistas. El modelo fue construido utilizando dinámica de sistemas y programado en

Palabras Claves: Obesidad, Balance Calórico, Dinámica de sistemas

Introducción

La obesidad es un estado de exceso de masa adiposa, que conlleva un riesgo para la salud. Aunque generalmente se asocia a un incremento en el peso corporal, esto no es siempre así, ya que pueden existir personas delgadas o de contextura media, pero muy musculosas, que pesarán más de lo considerado adecuado, sin tener un aumento en su tejido adiposo. Por lo tanto, la obesidad se produce debido a un balance calórico positivo, ya sea por medio de un elevado aporte energético o por una reducción del gasto de energía.

Varias líneas de investigación han descartado a la sobrealimentación como un hecho constante en los obesos, considerando a la obesidad como una entidad heterogénea, compleja y multifactorial (Moreno, 1997)

Actualmente la obesidad representa una epidemia en aumento que, en América Latina ha mostrado una progresión más acelerada que la de países desarrollados (Amigo, 2004). Su relación con el aumento en la mortalidad general, y el aumento del riesgo en enfermedades tales como: diabetes tipo II, dislipidemia, resistencia a la insulina, apnea del sueño y coleditiasis, cardiopatía coronaria, hipertensión arterial, hiperuricemia, gota, artrosis de rodillas, entre otras, además de problemas psicosociales como la menor sociabilidad, baja autoestima, discriminación social y laboral, y mayor

frecuencia de depresión y ansiedad; han motivado la creciente necesidad de atención y gasto de recursos justificando la necesidad del estudio de factores determinantes y el énfasis en la prevención.

Obesidad en la región metropolitana de Chile

Chile ha experimentado importantes cambios desde 1960, cuando existía una alta mortalidad infantil y materna, una alta prevalencia de enfermedades infecciosas y de desnutrición. En la década de los 90 predominan las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) y los accidentes. Siendo las enfermedades cardiovasculares las principales causas de muerte y una de las principales causas de morbilidad del adulto. Asimismo, el aumento del sedentarismo y la dieta inadecuada, han llevado a un incremento de la obesidad y de las hiperlipidemias (Rosowski, 2005).

La prevalencia de la obesidad en adultos chilenos, al utilizar el índice de masa corporal (IMC) mayor o igual a 30 como punto de corte, es de 23-24% en las mujeres y de 11-16% en los hombres de la Región Metropolitana (Berrios 1994). En la población escolar de 1° año básico, la prevalencia de obesidad (superior en dos veces la desviación estándar sobre la mediana de la relación peso/talla), ha aumentado entre 1987 y 2000 de 6,5 a 17% en niños y de 7,8 a 18,6% en niñas. En poblaciones urbanas de niños mayores

de 10 años la prevalencia de la obesidad aumentó de un 5 a un 17% en niñas y de 4% a 13% en niños entre 1986 y 1994 (Albala, 2000). Estas cifras han llevado a que el Ministerio de Salud considere a la obesidad como una de las prioridades en salud pública

Actualmente, esta en vigencia el Plan “Vida Sana” del Ministerio de Salud el cual establece como meta reducir la prevalencia en obesidad hacia el 2010 en un 7% en niños de 2 a 5 años. Asimismo, en los escolares de Primero Básico se propuso el desafío de reducir la enfermedad del 17% al 12%. En las embarazadas, en tanto, se ha registrado un incremento muy importante de la obesidad desde 1987, por lo que se pretende disminuir la incidencia en este grupo de un 32% a un 28% al 2010.

La mayoría de los casos de obesidad son de origen multifactorial. Se reconocen factores genéticos, metabólicos, endocrinológicos y ambientales. Entre los factores ambientales destacan tanto el aumento de la ingesta de alimento como la reducción de la actividad física. Los trastornos psicológicos provocados por el mundo moderno, así como el sedentarismo, la presión social y comercial para ingerir alimentos excesivamente calóricos parecen ser los factores más importantes en la etiología de la obesidad hoy en día. Sin embargo, la complejidad de los sistemas neuro-endocrinos y metabólicos que regulan el consumo de alimentos, su almacenamiento y gasto, hacen difícil cuantificar la relevancia de los factores causantes del aumento en la ingesta y/o la disminución del gasto calórico.

En Chile, existen dos sistemas de previsión de salud: el sistema de salud público FONASA (Fondo Nacional de Salud) el cual congrega el mayor porcentaje de personas con obesidad, siendo en su mayoría de bajo nivel socioeconómico; y los sistemas privado de salud denominados ISAPRE's (Institución de Salud Previsional)

El año 2004, FONASA puso en marcha un programa de atención integral para el manejo de la malnutrición por sobrepeso, destinado a adultos obesos prediabéticos derivados de consultorios de atención primaria.

El proyecto se desarrolla en cuatro centros de salud de referencia –públicos y privados-, de la Región Metropolitana:

Estos centros, en su etapa piloto, han atendido a un total de 280 pacientes, cada uno con 70 cupos

con un costo por tratamiento 180 dólares. (107.000 pesos chilenos)

Para el año 2005 se cuadruplico la cobertura de este programa piloto, previendo incluir a 1.120 personas, de las regiones Metropolitana, Quinta, Octava y Novena.

Objetivo

Este artículo tiene como objetivo proporcionar una herramienta al Ministerio de Salud de Chile, que permita medir la eficiencia de distintos planes de acción, a través de los ahorros producidos por efectos de la disminución de la prevalencia de obesidad y por los ahorros debido a la disminución de enfermedades colaterales.

Modelo

El modelo describe la dinámica de la obesidad de la población de la región metropolitana de Chile, y simula dos medidas de control de la epidemia.

El modelo fue construido utilizando dinámica de sistemas y programado en Powersim®; integrando a todos los factores participantes, incluyendo los costos provocados directamente por la obesidad, como los provocados indirectamente producto de enfermedades colaterales

El modelo consta de cuatro submodelos, los cuales describen las dinámicas: del Balance Energético, del Índice de Masa Corporal (IMC), de la obesidad (distinguiendo sus diferentes grados) y de los costos totales.

El intervalo de simulación es desde el año 2000 al año 2015. Se emplea el método de Euler para la integración con un paso de 0,5 años.

Se analizan dos medidas de control: la primera consiste en la disminución de la ingesta calórica promovida por el Ministerio de Salud a través de programa “Vida Sana” y la segunda considera un aumento en la cobertura a prestaciones nutricionales.

En ambos casos se estudia la evolución de la epidemia y el impacto económico. También se realiza un comentario de la factibilidad política de la implementación de tales alternativas

La Programación en Powersim® se presenta de manera amigable para los tomadores de decisiones, a través de un panel de control que permite, simular estas medidas de control, visualizando de manera rápida gráficos, tablas e incluso exportar lo resultados a planillas.

Utilización de Literatura Popular para la Enseñanza de Conceptos Sistémicos con el Libro “El Cuadrante Del Flujo De Dinero”

Prieto, Samuel., Meriño, Inés.
prietosamuel@hotmail.com - imerinof@hotmail.com
Universidad Del Magdalena

ABSTRACT- This report shows how popular literature of similar in form to the prose language that is used for the dynamic systems, can be used to transmit systematic concepts and specifically for the teaching of the methodology called systems dynamics. It's important say that our principal purpose in this report is show how it can be used the popular literature to explain System Dynamics concepts and not the use the System Dynamics to support the Kiyosaki's book.

We was use of the Robert T. Kiyosaki's book “the Cashflow Quadrant”, a book which became a Best-Seller due to a massive purchase made by a North American product distribution net for its affiliates and has been transformed into one of the most popular books in the diffusion of economics concepts.

Robert T. Kiyosaki has the ability of explaining economics concepts in a simple way, was being transformed into one of most read popular not only in North America, but also in the rest world of the world,. In his first Best Seller “Rich Father and Poor Father”, he shows how the feedback cycles produced by the money, and interests can make the money work intensely for someone, producing more money or on the contrary, that someone works intensely in order to pay the capital and interests produced in an interminable cycle of payments..

Part of success of this book is the revealing of how the anti-intuitive thought operated en business, when we consider the long range, a characteristic which is present in System Dynamics.

In this report we show how the book have it based on some known models of systems dynamics, shows in an ingenious and pleasant way.

RESUMEN -Esta ponencia muestra como se puede utilizar literatura popular de forma análoga al lenguaje de prosa usado por la dinámica de sistemas, para transmitir conceptos

sistémicos y específicamente para la enseñanza de la metodología denominada Dinámica de Sistemas.[1] *Es de destacar que nuestro propósito central en esta ponencia es mostrar como puede ser usada la literatura popular para explicar conceptos de la dinámica de sistemas y no el uso de la Dinámica de Sistemas para sustentar el libro de Kiyosaki.*

Haremos uso del libro “el cuadrante del flujo de dinero” de Robert T Kiyosaki, [5] libro que se convirtió en Best-Seller gracias a la compra masiva que realizo una red de distribución de productos norteamericanos para sus afiliados y que se ha convertido en uno de los libros mas populares en la difusión de conceptos económicos.

Robert T. Kiyosaki tiene la habilidad de explicar conceptos económicos de una forma sencilla convirtiéndose en uno de los autores populares mas leídos no solo en Norte América si no en el resto del mundo. Desde su primer Best Seller “ Padre Rico Padre Pobre”,[4] muestra como los ciclos de realimentación producidos por el dinero mas intereses, pueden hacer que el dinero trabaje intensamente para uno, produciendo mas dinero o por el contrario que uno trabaje intensamente para pagar el capital mas los intereses producidos en un ciclo interminable de pagos.

Parte del éxito de este libro es el develar como operan en los negocios el pensamiento anti-intuitivo, cuando consideramos el largo plazo, característica que esta presente en los procesos dinámico sistémicos.

En esta ponencia mostramos como el libro se fundamenta en algunos modelos conocidos de la dinámica de sistemas expuestos de una manera ingeniosa y agradable.

Índice de Términos— Aprendizaje Organizacional, Dinámica de Sistemas, Enseñanza de Sistemas, Literatura Popular

I. INTRODUCCIÓN

El libro “El cuadrante del Flujo de Dinero” [5] muestra las cuatro (4) formas cómo la personas pueden adquirir o generar dinero en el mundo capitalista y como dependiendo de la actitud que adoptemos¹ para generar el dinero podemos estar en el lado izquierdo del cuadrante del flujo de dinero que esta representado por las dificultades económicas en el largo plazo o del lado derecho del cuadrante de flujo de dinero que esta representado por riesgo en el corto plazo pero seguridad o libertad financiera en el largo plazo.

Las cuatro formas para generar dinero expuestos en “El cuadrante del flujo de dinero” son las siguientes: El Empleado (E), El Autoempleado (A), El Dueño de Empresa (D) y El Inversionista (I).

El Empleado y el Autoempleado buscan la **seguridad** financiera, a corto plazo, mientras que el Dueño de Empresa y el Inversionista buscan su **libertad** Financiera en el largo plazo.

De manera gráfica podemos representar las actividades generadoras de dinero en el mundo capitalista, de la siguiente manera:

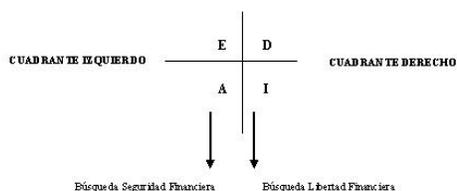


Fig. 1: Actividades generadas por el mundo capitalista.

Kiyosaki sostiene que cuando alguien está ubicado en alguno o algunos de los cuadrantes este se asocia a su personalidad y observamos algunas

¹ Aunque el autor asume una posición simplista y en el contexto Norte Americano para explicar las opciones de trabajo que puede adoptar una persona en el mundo capitalista, el interés de los autores es mostrar como la literatura popular puede explicar conceptos dinámico sistémicos y no una posición crítica sobre el libro.

características como las que se describen a continuación:

1) *Empleado:*

“Quiere satisfacer su temor con algún grado de seguridad, por lo que busca la estabilidad y acuerdos firmes y concretos cuando llega el momento de emplearse”. Son personas que resuelven sus problemas financieros endeudándose ya sea realizando préstamos a otras personas o a entidades bancarias, haciendo uso desmedido de sus tarjetas de crédito, si las poseen, dejándose llevar por ofertas que llaman su atención. Siempre buscan la excusa de no ganar el suficiente dinero y piensan que más dinero resolverá sus problemas. Buscar la satisfacción de sus necesidades de manera inmediata o en el corto plazo.

2) *Autoempleado:*

“A ellos nos les gusta que el dinero que ganen sea estipulado por alguien más o por un grupo de personas que podrían no trabajar tan intensamente como ellos”. Por lo general un autoempleado dedica gran parte de su tiempo al trabajo para poder tener éxito financiero. De manera análoga con el empleado busca la satisfacción de sus necesidades de manera inmediata o en el corto plazo, con la diferencia que él resuelve sus problemas inmediatos de dinero aumentando el tiempo laborado.

3) *Dueño de Empresa:*

Por lo general se asocia con personas inteligentes que provienen de los cuatro (4) cuadrantes, es un líder que le gusta asignar tareas. El lema de las personas ubicadas en este cuadrante es “por qué hacerlo tú mismo cuando puedes contratar a alguien que lo haga por ti, y que puede hacerlo mejor”.

Por lo general un dueño de empresa no dedica gran parte de su tiempo para generar dinero, sino que tiene un grupo de personas que generan el dinero por él. Su intención es tener seguridad

financiera en el largo plazo tomando riesgos económicos en el corto plazo.

4) *El inversionista:*

Ellos no tienen que trabajar porque su dinero está trabajando por ellos. De manera análoga al Dueño de Empresa su intención es tener seguridad financiera en el largo plazo tomando riesgos económicos en el corto plazo, pero con la diferencia que no tiene empleados.

Cada cuadrante está asociado con un método, lo cual implica el éxito o fracaso financiero que una persona ubicada en alguno de ellos pueda tener dependiendo de la actitud, aptitud y dinamismo que tenga para afrontar el mundo propio del cuadrante donde está ubicado. “Todos somos diferentes y un cuadrante no es más importante o mejor que otro”. La principal diferencia entre el cuadrante izquierdo y el cuadrante derecho es la posibilidad de las personas que se ubican al lado derecho de obtener beneficios tributarios y excepción de impuestos que en el lado izquierdo nunca tendrán.

Para evidenciar que el libro de Kiyosaki utiliza un lenguaje dinámico-sistémico hemos utilizado algunos de los modelos más conocidos de dinámica de sistemas (Arquetipos²)[6] que sustentan la mayoría de conceptos expuestos en el libro “El Cuadrante del Flujo de dinero” [5].

Los modelos que usaremos serán desarrollados en el software denominado EVOLUCION, creado por el grupo de investigaciones SIMON de la Universidad Industrial de Santander (UIS)[3]

II. EVIDENCIAS DE QUE LOS CONCEPTOS QUE FUNDAMENTAL EL LIBRO

² Algunos modelos de dinámica de sistemas que se repiten en diversas situaciones fueron recopilados por el grupo de trabajo de Peter Senge a lo que ellos denominaron Arquetipos en su libro clásico “La Quinta Disciplina”.

(BESTSELLER) “EL CUADRANTE DEL FLUJO DE DINERO” ESTÁ BASADO EN LA DINÁMICA DE SISTEMAS

Destacamos en esta ponencia que los conceptos emitidos por Robert T. Kiyosaki en su bestseller “El Cuadrante del Flujo de Dinero” tienen un fundamento dinámico sistémico y que los modelos que lo sustentan están presente en la literatura de dinámica de sistemas [1].

A continuación haremos un recorrido por los cuatro cuadrantes del flujo de dinero que Kiyosaki expone en su libro y mostraremos que los conceptos emitidos se basan en ideas dinámico-sistémicas, usaremos para ello modelos en dinámica de sistemas.

A. *El Empleado*

En su libro Kiyosaki muestra como los ingresos de un empleado dependen totalmente de su sueldo, los egresos que inicialmente son menores a los ingresos o sea a su sueldo disminuyen al adquirir un préstamo por ejemplo para la compra de una vivienda.

Como mostramos en la Figura 1 y Gráfica 1, al adquirir un préstamo para un gasto presente, tal como una vivienda, debemos pactar una cuota de pago mensual, un término, usualmente en meses para amortizarlo y unos intereses. El pago de intereses va hacer que nuestros egresos mensuales aumenten un poco, usualmente no prestamos atención a esto porque el aumento es relativamente pequeño, por tanto mantenemos nuestros gastos fijos mensuales (estándar de vida igual) haciendo que los egresos lleguen a ser un poco mayor que los ingresos y teniendo que recurrir a un nuevo préstamo con intereses para cubrir el faltante de dinero. La situación termina convirtiéndose en un ciclo realimentado haciendo que la deuda crezca indefinidamente, como se muestra en la **Fig. 2** donde el diagrama de forrester indica dicha situación y la **Fig. 3** nos representa la simulación del diagrama.

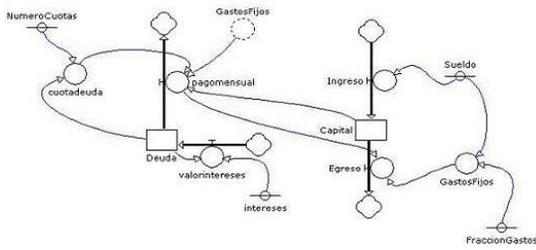


Fig.2. Diagrama de Forrester Empleado endeudado

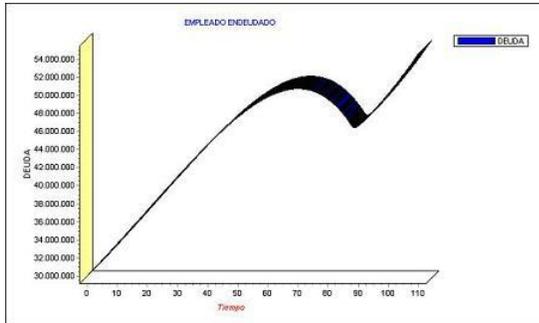


Fig. 3.: Empleado Endeudado

Es de notar que el nivel de endeudamiento disminuye un poco cuando estamos terminando el préstamo pactado inicialmente pero luego crece indefinidamente a causa de los prestamos mensuales mas intereses que hemos tenido que realizar para cubrir las cuotas mensuales.

Este es el principio con el cual muchas corporaciones, bancos y sobre todo tarjetas de crédito ganan su dinero, haciéndonos creer que por ejemplo la compra de una casa es una buena inversión y puede convertirse como lo hemos visto en una deuda interminable.

B. El Autoempleo

En su libro Kiyosaki muestra como en un Autoempleado sus ingresos dependen de su trabajo y por tanto situaciones de compras adicionales son resueltas con un incremento en la actividad laboral, evitando el endeudamiento que puede presentarse en el caso del empleado.

El principal inconveniente del autoempleo es que la actividad productiva es realizada por él, haciendo imprescindible su permanencia en el trabajo. En la Fig. 4. Mostramos el diagrama de forrester para un autoempleado que deja de asistir al trabajo por diez (10) días mensualmente, y en la gráfica 2 representamos el dinero dejado de ganar y la perdida acumulada por la inasistencia a realizar su trabajo.

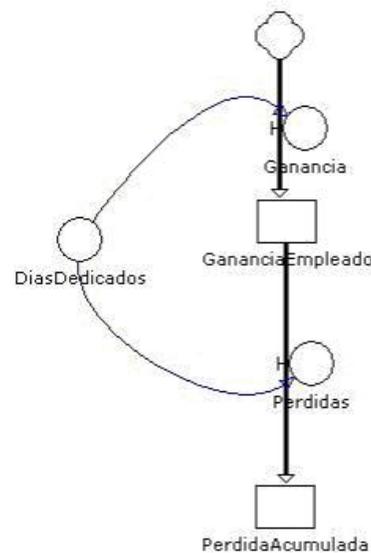


Fig.4: Diagrama de Forrester de autoempleado dejando de laborar 10 días

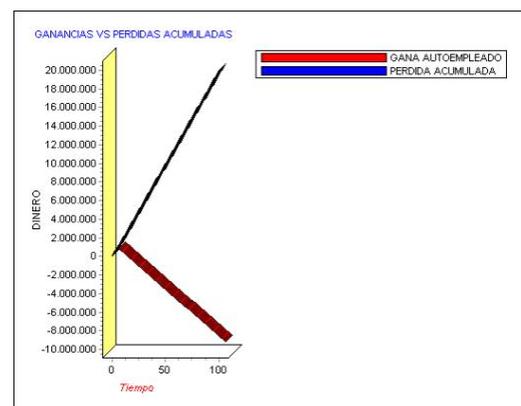


Fig. 5: Ganancia del Autoempleado y Perdida Acumulada

Otro inconveniente que se le presenta al autoempleado es el deterioro de su calidad de vida

debido a que cuanto mas tiempo dedica a su trabajo menos tiempo podrá dedicar a su familia. Como lo mostramos en la Fig. 6 y 7.

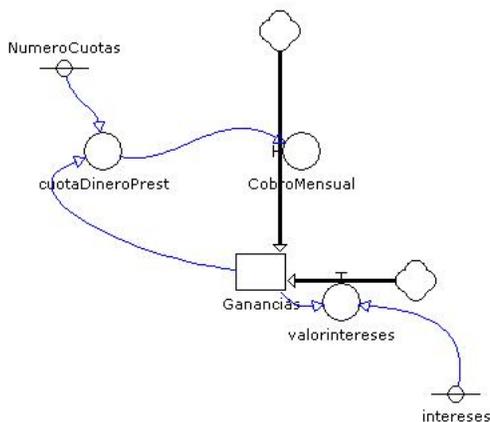


Fig. 6: Diagrama de forrester que muestra la relación tiempo dedicado al hogar versus tiempo dedicado al trabajo

En la Fig. 3. Podemos ver que el lado izquierdo del diagrama de forrester es similar al lado derecho de este. Es decir si uno dedica mayor tiempo al trabajo, obtendrá un mayor éxito en este, lo que induce desear pasar un mayor tiempo en el trabajo y esto necesariamente conduce a tal situación. Note que esta situación es similar a la que sucede si uno pasa un mayor tiempo en el hogar que repercutirá en un éxito familiar y por tanto un deseo de pasar un mayor tiempo en él.

Desafortunadamente como los dos ciclo, el del trabajo y el del hogar, no son independientes, casi siempre el ciclo de trabajo empieza a tener un mayor peso que el ciclo de hogar, llevando como lo expone kiyosaki en su libro a que el autoempleado aunque no tiene una situación de deuda como el empleado, si tendrá serias dificultades en el hogar.

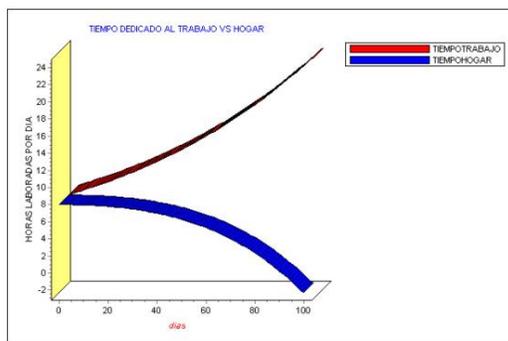


Fig. 7: Muestra el incremento en el tiempo dedicado al trabajo y el decremento del tiempo dedicado al hogar.

En este cuadrante aunque se tiene un poco de libertad financiera esta es realizada a expensas de un deterioro de su vida familiar e inclusive de su salud como se observa fácilmente en la gráfica, y además podría entrar en serias dificultades económicas al ausentarse de su trabajo por alguna de estas razones.

C. El Lado Derecho del Cuadrante: El Dueño de Empresa (D) y El Inversionista (I)

En su libro Kiyosaki muestra como en el Lado Derecho del Cuadrante la persona resuelve sus compras adicionales haciendo que se incremente el trabajo de personas que laboran para él o en el caso del inversionista haciendo que el interés cobrado por el préstamo de su dinero sea aumentado. La situación del inversionista es contraria a la situación del empleado y la del empresario es contraria a la del autoempleado.

Usando el lenguaje de dinámica de sistemas mostramos el Diagrama de Forrester en la Fig. 8, donde el incremento en horas laboradas en la empresa permite el aumento de capital del dueño de ella debido a que el no hace parte de las actividades que se realizan en la empresa, disponiendo adicionalmente de tiempo libre.

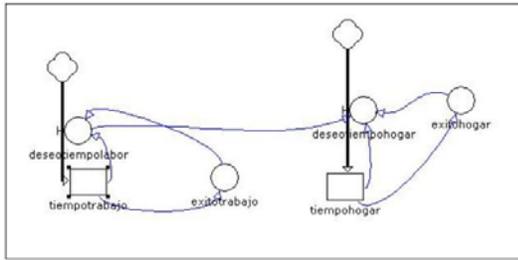


Fig. 8. Diagrama de Forrester con incremento de tiempo libre gracias al trabajo de otros.

En el diagrama de forrester del empresario es de destacar que el capital ganado por el empresario, se representa como días que el podría vivir sin trabajar manteniendo el mismo nivel de vida, algo en lo que kiyosaki hace énfasis para considerar a alguien rico. Kiyosaki define la riqueza, no como el capital que se gana o se tiene, por el contrario es la posibilidad de tener un nivel de vida determinado sin tener que trabajar.

Si el dueño de empresa requiere incrementar su capital no lo hará a expensas de su salud o de su hogar, porque podrá contratar más personal, debido a que el no esta involucrado como trabajador en la empresa.

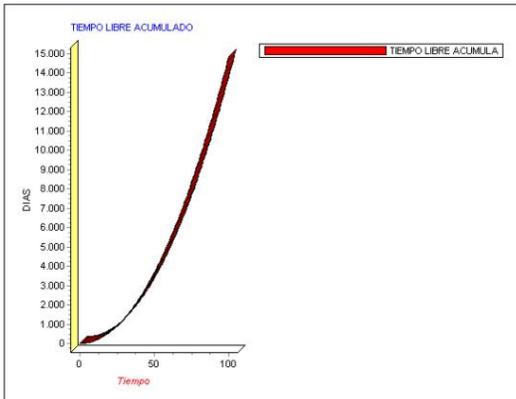


Fig. 9: Muestra el incremento de tiempo libre para el dueño de empresa.

Como puede verse en la gráfica el incremento en tiempo libre del dueño de empresa se puede volver exponencial gracias al capital producido por su sistema empresarial.

En las Fig. 10 y 11 representan al inversionista que recibe intereses de su capital y que es la situación totalmente contraria a la del empleado endeudado, esta situación en términos económicos es la ideal. Cuando se es inversionista, el dinero es el que produce un dinero cada vez mayor al aprovechar el ciclo realimentado producido por los intereses.

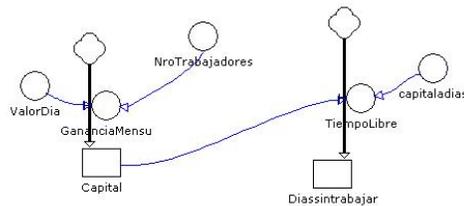


Fig. 10. Diagrama de Forrester de un inversionista

En la Fig. 10, La situación es similar a la del empleado, pero en esta el cobro mensual reemplaza el pago mensual del diagrama del empleado, y los intereses del préstamo que lo conducían a un empobrecimiento, aquí por el contrario le permiten en el largo plazo, lograr su libertad financiera.

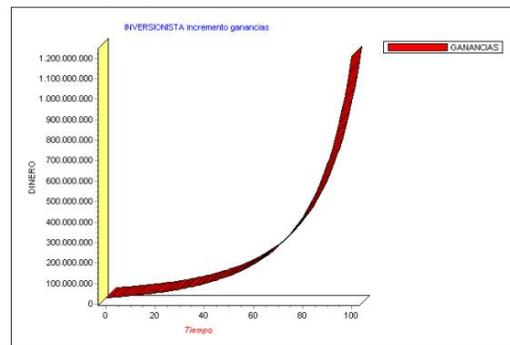


Fig. 11: Muestra el incremento de ganancias de un inversionista

La situación ideal en el mundo capitalista donde el dinero hace crecer el dinero exponencialmente gracias a las inversiones realizadas. En su libro Kiyosaki destaca que para ser un buen inversionista es necesario o recomendable haber sido un empresario.

III. CONCLUSIONES

Con este trabajo hemos querido verificar que los conceptos emitidos por Robert Kiyosaki en el bestseller "El cuadrante del Flujo de Dinero" son ideas dinámico sistémicas aunque el autor no lo exponga de una manera explícita (Utiliza lenguajes de prosa).

Usamos los diagramas de forrester y la simulación para sustentar los conceptos emitidos por Kiyosaki.

Es importante destacar que el bestseller de Kiyosaki está destinado a un público general y que por tanto la forma en que describe sus ideas puede ser utilizadas por la comunidad científica del área de dinámica de sistemas cuando requieran difundir sus conceptos a un público no científico o cuando se desee usar este material como inducción a las ideas dinámico-sistémicas.

Las ideas de sistemas han sido usadas para explicar fenómenos de economía, ecología, y de biología entre otros en un ámbito totalmente académico. Robert Kiyosaki en su bestseller sin utilizar expresamente el vocabulario de sistemas, enseña conceptos económicos basados en las ideas dinámico sistémicas contribuyendo a la difusión de ellas, sería interesante para la comunidad de dinámica de sistemas realizar trabajos en este sentido.

REFERENCIAS

- [1] J. Aracil, "Máquinas, Sistemas y Modelos". Editorial Tecnos. Madrid. 1986
- [2] J. Aracil, "Introducción a la dinámica de sistemas", Ed. Alianza . 1997
- [3] C. Ardila y P. Duran. Evolución 2.0: Herramienta software para el modelamiento y simulación con Dinámica de Sistemas. Tesis de Grado en Ingeniería de Sistemas

[4] R. Kiyosaki, "Padre Rico Padre Pobre". Editorial: Time & Money Network. 2001

[5] R. Kiyosaki, "El Cuadrante del Flujo de Dinero". Editorial: Time & Money . 2001

[6] P. Senge, "La Quinta Disciplina". Editorial Granica. 1990

Autores

SAMUEL PRIETO MEJÍA, 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 GIAO reconocido por COLCIENCIAS en el área de Aprendizaje Organizacional.

INES DEL CARMEN MERIÑO FUENTES, Ingeniera de Sistemas, Universidad del Magdalena, Directora del Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad del Magdalena, Integrante del grupo GIAO reconocido por COLCIENCIAS en el área de Aprendizaje Organizacional.

Juegos de Simulación Dinámico-Sistémicos para la Sostenibilidad de Recursos de Uso Común

Ariza Z., Gerly Carolina, Sotaquirá G., Ricardo, Serrano G., Maria Cristina.
{gariza, rsotaqui, mserrano}@unab.edu.co
Universidad Autónoma de Bucaramanga
Colombia

Resumen—Se presenta en este artículo el problema de la sostenibilidad de recursos naturales, particularmente los recursos de uso común, abordado desde la Dinámica de sistemas y la Acción colectiva. Se expone que la racionalidad que hace posible la cooperación entre individuos es compartida por estas dos corrientes, y se presenta en este documento como fundamento para las consideraciones preliminares de diseño de juegos de simulación, que incentiven un uso sostenible de los recursos por medio de estrategias que hacen posible la cooperación. Estas propuestas de diseño serán materializadas durante una fase posterior de la investigación donde se construirán los juegos de simulación y se experimentarán en una comunidad que depende económicamente de un recurso de uso común.

Índice de Términos—Recursos de uso común, Sostenibilidad, Cooperación, Juegos de Simulación.

I. INTRODUCCIÓN

Entre los numerosos elementos de la crisis del medio ambiente en la que se encuentra nuestra civilización, lo relativo al problema del uso sostenible de recursos naturales, y a sus consecuencias sobre la sostenibilidad de los sistemas sociales figura entre lo más polémico y estudiado últimamente. Los recursos naturales representan fuentes de riqueza y bienestar para las poblaciones que los explotan. Para que pueda mantenerse el uso productivo de estos recursos por parte de la sociedad, a través del tiempo, sin colapsar o experimentar un rápido deterioro, se debe considerar una visión a futuro que exige prevenir las consecuencias de las decisiones del presente, implica pensar en los impactos de los procesos productivos y de los estilos de vida adoptados o por

adoptar, a mediano y largo plazo. Para buscar el bienestar humano y mejorar la calidad de vida de la gente, sin destruir los sistemas vitales de los que dependen dichas sociedades, es necesario el uso sostenible de recursos naturales.

Propendiendo por la sostenibilidad de recursos naturales, en especial los recursos de uso común, este artículo proporciona algunas consideraciones para el diseño de juegos de simulación para el uso sostenible de tales recursos. Las consideraciones iniciales que se suministran aquí, están encaminadas a generar las condiciones que hacen posible la cooperación entre individuos que dependen económicamente de un recurso común. A partir de dichas consideraciones se pretende la creación y el aumento de los niveles de cooperación en los participantes del juego, con el fin de contribuir a mejorar la toma de decisiones, dentro y fuera del juego, orientadas hacia la sostenibilidad de recursos de uso común.

II. SOSTENIBILIDAD Y DINÁMICA DE SISTEMAS

La sostenibilidad de sistemas sociales y la sostenibilidad de los recursos naturales mundiales se ha venido estudiando desde diversos campos de la ciencia. Particularmente desde la corriente sistémica de modelado y simulación conocida como Dinámica de Sistemas[1],[2],[3] se han realizado estudios en donde se ha abierto una puerta para comprender mejor el comportamiento y las políticas establecidas para resolver problemáticas de orden social, en especial con respecto al colapso mundial posible a mediados del siglo XXI por el agotamiento progresivo de los recursos mundiales

como lo muestran los libros “World Dynamics”[4] y “The Limits to Growth”[5],[6]. En síntesis dichos estudios manifestaron que: “Si se mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamiento de los recursos, este planeta alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable descenso tanto de la población como de la capacidad industrial”[5].

Los anteriores estudios son útiles tanto como herramientas de aprendizaje de la problemática, como para el diseño de políticas de sostenibilidad. Pero el cambio de las políticas no basta para hacer sostenible un sistema social y en particular para un uso sostenible de recursos naturales por parte de comunidades. Se necesita cambiar la forma de ver el sistema, es decir cambiar el modelo mental de quienes elaboran políticas de gestión de recursos de uso común (RUC), es allí donde la Dinámica de Sistemas es adecuada para promover un cambio en las percepciones y los modos de ver el sistema de manera inmediatista, reduccionista y limitada, por modos holistas, a largo plazo y comprendiendo causalidades y efectos, dado que esta es la esencia de la Dinámica de Sistemas.

Sterman, Senge, Moxnes [7],[8],[9] se han preocupado por entender mejor cómo los individuos toman decisiones colectivas en sistemas sociales y en particular cómo brindar herramientas para mejorar el uso sostenible de recursos comunes. Ellos articulan sus investigaciones sobre la dificultad que tienen los seres humanos para comprender las implicaciones que trae consigo la toma de decisiones, para lo cual realizan experimentos con abstracciones y juegos de simulación que permiten recrear situaciones de toma de decisiones en el mundo real. Dentro de la gama de juegos de simulación que se han construido, el primero que aborda particularmente problemas de sostenibilidad de recursos comunes es “Fish Banks” [10]. Un juego que es utilizado como herramienta educativa para enseñar la gerencia sostenible de los recursos de la industria pesquera,

logrando la comprensión de la gerencia de recursos naturales; y entendiendo cómo el sistema puede conducir a pescadores racionales hasta el extremo de eliminar su propio suministro de pesca de manera irracional, a través del hecho de vivir experiencia de pasar desde los grandes beneficios iniciales al súbito colapso y destrucción de la industria pesquera.

Se puede observar que la Dinámica de Sistemas está interesada en entender cómo los modelos mentales y las herramientas que utilizan los involucrados y quienes toman decisiones en gestión de recursos comunes influyen en la sostenibilidad del sistema social.

III. SOSTENIBILIDAD Y ACCIÓN COLECTIVA

Esta misma problemática se ha estudiado desde diversos campos de la ciencia como, la sociología, la política y la economía, entre otros. Particularmente en las últimas décadas se ha construido un campo de acción interdisciplinario al cual se atribuye el nombre de “Acción colectiva”, que le ha interesado entender cuáles racionalidades hacen que un conglomerado de individuos se comporten como un colectivo cohesionado. En consecuencia, le interesa estudiar el fenómeno de la cooperación entre individuos. El marco conceptual utilizado en este campo es el que proporciona la Teoría de juegos.

Para comprender la naturaleza de la cooperación humana desde la Teoría de juegos se ha utilizado el “Dilema del prisionero”[11]. En este juego se supone que cada jugador, de modo independiente, trata de maximizar su propia ventaja sin importarle el resultado del otro jugador. Las técnicas de análisis de la Teoría de juegos clásica, pueden llevar a cada jugador a escoger traicionar al otro, pero curiosamente ambos jugadores obtendrían un mejor resultado si colaborasen. Desafortunadamente cada jugador está incentivado individualmente para defraudar al otro, incluso tras prometerle colaborar.

A través de dicho juego se ha formalizado el modelo de la “Tragedia de los comunes”[12], en el

cual se pone de manifiesto la degradación del ambiente que puede esperarse siempre que muchos individuos utilizan al mismo tiempo un recurso escaso. El problema de explotación excesiva y de depredación de un recurso de uso común se presenta cuando numerosos individuos o comunidades utilizan al mismo tiempo y de manera conjunta el recurso, sin que ninguno de ellos pueda excluir a los demás de su uso y procurando cada uno obtener el mayor provecho de su explotación, trayendo consigo la destrucción del recurso de uso común. Este comportamiento se da ya que los individuos que están recibiendo beneficios del recurso de uso común actúan de manera individualista y dejan de lado las consecuencias de sus acciones sobre el bienestar colectivo.

En la actualidad la depredación de muchos de esos recursos debido a la acelerada deforestación y destrucción de ecosistemas primordiales para el equilibrio y la sostenibilidad mundial, ha venido generando respuestas de tipo legal y regulatorio, como el establecimiento de parques nacionales, planeación de la población y el manejo adecuado de los ecosistemas y de las especies, con lo cual se ha favorecido la conservación de algunos recursos naturales. Pero la mayoría de las soluciones para contrarrestar la insostenibilidad de los mismos, tradicionalmente se han enmarcado dentro de dos tipos de soluciones posibles: la intervención fuerte del Estado y la participación activa de agentes privados[13].

El primer tipo de solución se fundamenta en la premisa que el hombre es un ser egoísta e incapaz de pensar y actuar en pro del bien común. Dado lo anterior, los recursos de uso común requieren de un control público para evitar la degradación y destrucción del bien[14]. En la segunda solución se enfatiza en la generación de derechos de propiedad privada sobre la propiedad común existente, ya sean recursos naturales o vida silvestre, con el fin de garantizar la eficacia y sostenibilidad del uso del bien explotado[15]. Sin embargo lo que se puede observar según todo lo anterior, es que ninguna estrategia implementada ya sea desde el Estado o desde el mercado, ha dado el resultado esperado por

parte del gobierno o de las instituciones privadas a cargo del uso regulado, eficiente y sostenible de los recursos comunes. Este ha sido el caso de los países del tercer mundo en donde se han implementado este tipo de medidas coercitivas para el uso de algunos recursos comunes [13. p.36].

Pero dentro de este marco de ineficiencia y depredación en el uso de recursos comunes, en la actualidad se traen a consideración casos exitosos de regulación sostenible de recursos comunes, por parte de comunidades indígenas y colectividades en las cuales se ha generado la llamada “Autogestión colectiva para recursos o bienes comunes”[13]. Dicha teoría de regulación de recursos comunes contradice en cierta forma el consenso existente a partir de la teoría expuesta por Hardin basada en la imposibilidad de la cooperación. En contraposición con lo anterior, la teoría de Autogestión colectiva se fundamenta en la capacidad para lograr y cumplir acuerdos razonables entre los participantes en pro de una explotación sostenible de un bien común, dejando de lado estrategias de beneficio individual para lograr crear estrategias coordinadas para obtener mejores beneficios comunes o para reducir daños al entorno.

Ostrom y otros autores dedicados al estudio de la tragedia de los comunes, desde la teoría de juegos y la recolección de datos empíricos, han logrado crear modelos que representan situaciones concernientes al uso de recursos comunes, los cuales han sido aplicados en diversos países tanto desarrollados como en vías de desarrollo como es el caso colombiano. La estrategia de investigación tiene que ver entonces, con realizar un ejercicio de abstracción que capture los aspectos que son determinantes en la toma de decisiones de los participantes del uso de recursos comunes, y reflejar estos aspectos en un juego. El juego actuaría como un espejo en donde los participantes involucrados pueden darse cuenta de la esencia de los problemas que ellos enfrentan.

IV. DISEÑO DE JUEGOS DE SIMULACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD

Puede observarse entonces que este uso peculiar de los juegos propuesto por autores de la corriente de “Acción colectiva” resuena con el papel que cumplen los juegos de simulación en la idea de aprendizaje de la Dinámica de Sistemas. Pero adicionalmente, ambas corrientes comparten una preocupación fundamental por propiciar condiciones para la sostenibilidad de una comunidad que depende productivamente de un recurso natural común. Puesto en otros términos, ambas están interesadas en comprender mejor las racionalidades que hacen posible la cooperación y en diseñar juegos que propicien el ejercicio de tales racionalidades en comunidades concretas.

Para comprender cual es el tipo de racionalidad que esta presente en los individuos en el momento de tomar decisiones acerca de recursos de uso común, se hace pertinente evidenciar la racionalidad asumida por los autores tanto de la corriente de Acción colectiva como de la Dinámica de Sistemas.

A. Racionalidad y Acción Colectiva

Para hablar del tipo de racionalidad asumida por los autores de acción colectiva, es necesario traer a la luz la teoría de Elección racional, en la cual el individuo se enfrenta a la toma de decisiones (diversos cursos de acción) en la realidad, procurando escoger la decisión que él cree le traerá el mejor resultado general. A partir de esta premisa fundamental, Mancur Olson en su escrito “The Logic of Collective Action”[16] asume los siguientes supuestos sobre las condiciones a las que está sujeta la acción colectiva:

- 1) Los grupos como tal no tienen intereses propios. Solamente tienen intereses individuales.
- 2) Los individuos actúan en pro de sus intereses, eligiendo acciones solamente cuando su beneficio previsto excede su costo esperado.
- 3) Aunque la participación sea costosa para un individuo, la meta que un grupo puede lograr si cooperan sus miembros, es beneficiosa para todos los miembros.

- 4) Los individuos no pueden ser excluidos de gozar de los beneficios de la meta, si ésta ha sido lograda.
- 5) Los individuos no consideran el efecto de las decisiones de otros individuos en su decisión de cooperar.

Los anteriores supuestos muestran que la acción colectiva, vista desde la óptica de Olson, está basada en una “racionalidad individualista”, en donde la elección de cooperar o no cooperar se deriva del calculo de costo-beneficio individual. Podría decirse que la acción colectiva aquí, esta motivada por los incentivos económicos que logre captar el individuo, sin tener en cuenta el beneficio que podría esperarse si otros cooperan. En palabras de Olson: “individuos racionales con intereses propios no actuarán para lograr sus intereses comunes o de grupo, a menos que exista una coerción o algún otro dispositivo especial para hacer que los individuos actúen a favor de su interés común”¹[16].

Ahora bien, cuando la acción colectiva es entendida desde el marco conceptual de la Teoría de juegos, se hace evidente que las situaciones en donde el individuo debe hacer uso de la elección racional son aquellas de tipo estratégico. En estas situaciones el individuo antes de tomar su decisión, tiene que prever qué es lo que los otros van a hacer, y a su vez debe prever qué es lo que los otros van a pensar que va a hacer él, es decir, en situaciones estratégicas se da una interdependencia entre las decisiones de los individuos.

Según Medina [17], en el caso de la utilización de RUC por parte de una comunidad, el problema de elección que enfrentan los individuos para que surja la acción colectiva, va más allá de los incentivos económicos que puedan lograr de manera individualista. Para él y otros autores[18], la solución posible a este problema debe tomar la forma de un cambio en la estructura de costos y beneficios a la que los individuos hacen frente, de modo que la encuentren atractiva para cooperar. El

¹ Traducción nuestra de un aparte de la pagina 2 del libro “The logic of collective action. Publics goods and the theory of groups”.

dispositivo conceptual usado para este punto es el de los incentivos selectivos, vistos aquí como el aumento en las recompensas que los individuos obtienen si actúan de manera cooperativa. El aspecto crucial de los incentivos selectivos es que deben compensarle al individuo el costo incurrido en la participación colectiva. Es decir que el incentivo exceda el costo de cooperación, de esta forma los individuos cooperaran.

Para Medina la cooperación es posible por un lado, siempre y cuando el beneficio obtenido por cooperar sea mayor que el beneficio obtenido individualmente, entonces aún desde esta postura la decisión de cooperar en el RUC esta ligada a una “racionalidad individualista” como ocurría en Olson. Sin embargo Medina, sin apartarse de la premisa básica de la elección racional, plantea que el marco conceptual olsoniano tiene como limitación el asumir que los individuos no son lo bastante racionales como para comprender las ventajas de cooperar cuando toman decisiones de RUC.

Bajo este enfoque, el individuo cuando enfrenta un problema de acción colectiva, no se centra sólo en el supuesto individualista, sino que en él también influyen las creencias que él tenga acerca del comportamiento de los otros individuos[19]. Es decir, para tomar la decisión de cooperar o no, él se basa tanto en el costo-beneficio de los incentivos selectivos, como en los modelos mentales acerca del curso de acción que posiblemente tomarán los otros individuos, esta es la “racionalidad estratégica”. Si el individuo tiene la creencia de que los demás van a cooperar, él tomaría la decisión de cooperar basándose en los incentivos y en su creencia de cooperación de los otros, entonces el estaría más dispuesto a cooperar. Caso contrario se da cuando su creencia acerca del comportamiento de los demás es individualista (free-riding), en cuyo caso sólo tomaría la decisión basándose en los incentivos selectivos.

En este punto la teoría de Autogestión Colectiva de Ostrom[13] se aproxima a los supuestos de Medina acerca de la racionalidad estratégica, ya que

según la autora, a pesar de que la motivación principal para cooperar en RUC en una comunidad sean los incentivos económicos, existen ciertas reglas de autogestión que ayudan a que los individuos creen conciencia acerca del comportamiento cooperativo que los otros individuos pueden llegar a tener. Este tipo de creencia acerca del comportamiento cooperativo de los otros individuos, se logra a través de normas construidas, compartidas e internalizadas por la comunidad. Gracias a ellas se fomentan factores claves para la cooperación como lo son la confianza, la reciprocidad y la reputación. El conjunto de normas y acuerdos (sanciones, prohibiciones, derechos, reglas de afiliación, información, retribuciones) establece instituciones de autogestión colectiva, en donde la elección del individuo de cooperar o no, depende de:

- 1) El conocimiento (científico – tradicional) del sistema, es decir su estructura, límites y características internas.
- 2) La evaluación de costo - beneficio (tasa de descuento - incentivo selectivo) de las acciones a tomar.
- 3) Percepción de los posibles resultados (corto - largo plazo).
- 4) El número de personas que toman decisiones.
- 5) Las semejanzas de intereses entre los individuos, Normas de comportamiento (comunes - construidas).

De acuerdo con lo anterior, la elección de cooperar ó no del individuo, en problemas de RUC según la teoría de autogestión colectiva de Ostrom, estaría igualmente basada en una “racionalidad estratégica”. Esta concepción de racionalidad sugiere que la cooperación de los individuos en una comunidad resulta de los intereses individuales, pero que bajo ciertas condiciones se convierten en intereses colectivos cuando la comunidad logra actuar cooperativamente.

B. *Racionalidad y Dinámica de Sistemas*

En el libro “Mas allá de los límites de crecimiento”[6] aparece una definición de mundo

sostenible como: aprender, actuar y buscar caminos que nos conduzcan a la eficiencia, a la meta que nos permita subsistir. Los autores sugieren que la gestión de recursos comunes tiene que ver con la cualidad de gobernar. Sin embargo, no es posible un buen gobierno sino se definen nuevos sistemas de valores, nuevas motivaciones espirituales, éticas, sociales, filosóficas, políticas, de manera que se restablezca dentro de nosotros el amor, la amistad, la solidaridad, el espíritu de sacrificio, la convivencia. “Estas cualidades nos llevarán a otras formas de vida donde ganemos todos”[6]. Estas intenciones aparentemente le apuntan a una cooperación necesaria para subsistir. Dado que el escrito clama por un espíritu de compañerismo global para evitar el colapso del mundo, pareciera que los autores perciben una causa de la sobreexplotación de recursos asociada con las relaciones humanas, la conducta y el individualismo que determina a las anteriores. Con esto podemos decir que las razones por las que la disponibilidad de recursos se ve afectada tienen que ver más con el comportamiento del individuo cuando busca satisfacer de manera eficiente sus intereses y los de la comunidad, que con la insuficiencia de los mismos. “Hay la cantidad justa de energía, materiales, dinero, resistencia del medio ambiente, y virtud humana para lograr una revolución en pro de un mundo mejor”. Según estos planteamientos podría indicarse que un mundo mejor es posible solo cuando los seres humanos se unan en una lucha contra el deterioro de los recursos naturales, situación que les preocupa por no tener la posibilidad de explotarlo en el futuro. Es una lucha motivada por el temor de no poder “administrar” el recurso, y a largo plazo no recibir de él lo que ha venido recibiendo por años. En otras palabras, el individuo necesita del recurso para satisfacción de sus propios intereses.

Dentro de este contexto, la decisión de cooperar o no, esta motivada por el afán de cuidar la fuente que brinda el recurso pues sin ella se ve afectado el desarrollo sostenible y por tanto la propia subsistencia. Algunos de los supuestos que sostienen este argumento son:

1) El medio ambiente es fuente de vida y de

cada economía.

- 2) Todas las necesidades materiales humanas deberían ser satisfechas materialmente y todas las necesidades inmateriales deben ser satisfechas inmaterialmente.
- 3) Afán por buscar las tecnologías que reducirán la necesidad de insumos globales, incrementarán la eficiencia, incrementarán los recursos, mejorarán las señales, pondrán fin a la pobreza y como las puede alentar la sociedad.
- 4) ¿Cómo utilizamos el sistema de mercado, además de otras formas de organización para alcanzar nosotros el futuro que deseamos?

Estos supuestos evidencian que existe una preocupación por encontrar estrategias y recursos para administrar (¿controlar?) de manera más eficiente y para satisfacer los intereses de un colectivo, la sociedad. Aquí el medio ambiente aparece como “el proveedor” de las condiciones favorables para que la sociedad subsista. La responsabilidad de las generaciones futuras genera una preocupación por mantener un flujo limitado de recursos. La respuesta desde la Dinámica de Sistemas es el diseño de políticas que contribuyan al aseguramiento de recursos para todos por medio de un cambio radical en la gestión, producción y utilización de los mismos. La pregunta que motiva la creación de dichas políticas es entonces: ¿cómo podemos asegurar una economía humana que provea lo suficiente para todos y que además tenga cabida dentro de los límites físicos de nuestro planeta?

Comprender los límites planetarios parece ser la forma de disminuir la influencia que tiene en el mundo, la idea de que el crecimiento económico es la única alternativa contra la pobreza. Este es el comportamiento dominante del sistema mundial. La elaboración de estudios y proyecciones alternativas sobre el comportamiento de la población y los bienes de consumo se convierten en ayudas para determinar si la tasa de crecimiento actual, efectivamente nos llevará a un futuro donde los recursos sean suficientes para todos o si por el

contrario, hará menos posible el desarrollo sostenible. Es claro que el desarrollo sostenible depende de las elecciones humanas y de un cambio en el modelo mental que asume el crecimiento como la única alternativa posible para un mundo mejor.

La dinámica de sistemas propone modelos de aprendizaje que permitirán al ser humano entrenarse en el manejo de recursos comunes. ¿En que consiste este aprendizaje? En estudios de laboratorio, donde se realizaron experimentos para explorar si los individuos estaban en capacidad de comportarse de un modo óptimo para todos, se evidenció que la falta de incentivos, la incertidumbre sobre las metas y la inconsciencia sobre la naturaleza dinámica de los sistemas producen, independientemente de la escolaridad de los participantes, agotamiento de los recursos[9]. El autor argumenta, que este tipo de problemáticas se presentan porque se ha enfocado la atención en la administración de recursos comunes olvidando la naturaleza dinámica estos sistemas: “La falta de conocimiento sobre la dinámica del recurso conlleva a su sobreexplotación”. Los resultados de estas experiencias se pueden resumir en los siguientes puntos:

- 1) Los participantes independientemente de su escolaridad y experticia en el tema, no son conscientes de la naturaleza dinámica y de la implicaciones que trae consigo el hecho de que los recursos sean considerados como niveles que se incrementan y se agotan a través del tiempo.
- 2) Los participantes no perciben la demora tanto de sus acciones como del ciclo de vida del recurso.
- 3) Los participantes no tienen en cuenta la curva de crecimiento del recurso.
- 4) Debido a la complejidad de estos sistemas es necesaria la difusión de estos estudios para que estos errores no se repitan.

La propuesta entonces para contrarrestar estos efectos es básicamente organizarse para lograr controlar el recurso de manera colectiva a través de

un aprendizaje basado en la experiencia que permita estimar los riesgos a corto y largo plazo y por tanto comprender cómo funciona el sistema a través del tiempo. Estos aspectos permitirían tener percepciones mas claras sobre la situación estudio, las causas que la generaron y por tanto permitiría tomar decisiones mas eficientes que lleven al grupo a “administrar” el recurso de manera que todos ganen.

Podría decirse que las motivaciones para cooperar, desde la Dinámica de sistemas, están enraizadas en la misma racionalidad individualista que utiliza la naturaleza para satisfacer intereses propios, que por las condiciones en que surgen, se vuelven colectivos. Los beneficios tangibles, en este caso, las ganancias resultado de la cooperación son la razón que incentiva el cuidado del medio ambiente y el afán del desarrollo sostenible. Sin embargo, cuando los participantes comparan los beneficios que podrían obtener al cooperar, con los que obtendrían al no hacerlo, hay una inquietud también por el comportamiento de los otros, si estarán dispuestos a cooperar. Esta influencia muestra que no sólo opera la racionalidad individualista, sino que también hay un momento de racionalidad estratégica en la toma de decisiones.

Ahora bien, partiendo de la revisión de conceptos y supuestos referentes a la racionalidad individualista y estratégica, y de cómo dichas racionalidades se hacen visibles mediante la cooperación o no, entre los individuos al gestionar recursos de uso común, tanto en la corriente de acción colectiva como en dinámica de sistemas, se plantean entonces, algunas orientaciones para el diseño de juegos de simulación, en los cuales los participantes experimenten al jugar una racionalidad estratégica enriquecida por los aportes de la Autogestión colectiva en la toma de decisiones encaminada hacia la sostenibilidad de recursos de uso común, en otras palabras, experimentan, asimilan y refuerzan los beneficios de cooperar en el uso de recursos comunes.

V. ORIENTACIONES PARA EL DISEÑO DE JUEGOS DE SIMULACIÓN

El contexto en el que se toman decisiones de sostenibilidad involucra incertidumbre, complejidad, recursos limitados, y valores e intereses humanos en conflicto, es así que algunas de las orientaciones de diseño que se sugiere tener en cuenta para el uso educativo de juegos de simulación de RUC, se refieren a: el conocimiento del sistema, reducción del nivel de incertidumbre al tomar decisiones, disponibilidad de información sobre experiencias pasadas sobre gestión del recurso, la posibilidad de soportar múltiples jugadores y diversos roles, de construir reglas para la toma de decisiones, de probar y reformular estrategias de acción en la realidad simulada.

En primer lugar, es claro para las dos corrientes que una de las estrategias para que exista la cooperación estaría enfocada en la capacidad de los individuos para comprender cómo funciona el sistema, entendido como: la comprensión de la estructura causal, los ciclos de realimentación, límites del sistema, y las tasas de crecimiento. Lo anterior, conduciría a un proceso de toma de decisiones consciente de la dinámica del recurso y de los posibles efectos que tendrían dichas decisiones sobre la disponibilidad del recurso a corto y largo plazo. A su vez, esta información reduciría la incertidumbre que acompaña el proceso de toma de decisiones, lo que permitiría realizar acuerdos y negociaciones entre individuos, donde se consiga un beneficio colectivo que promueva la sostenibilidad del recurso.

Los juegos de simulación deben proporcionar la posibilidad de crear, refinar y probar estrategias para la cooperación, basadas en reglas previamente definidas por los jugadores las cuales alimentan la toma de decisiones en el sistema simulado, antes de ser implementadas en la realidad, disminuyendo así el nivel de riesgos que afecten la sostenibilidad del sistema.

Un juego de simulación multijugador, proporciona la posibilidad de conocer las decisiones de todos los jugadores, lo que permite crear y

reforzar las creencias sobre cómo cooperan los demás; siendo estas creencias capaces de aumentar los niveles de confianza, reputación y reciprocidad, siendo estos aspectos básicos para que exista cooperación.

Los juegos de simulación proporcionan la posibilidad de representar la complejidad de los acuerdos y negociaciones, que surge de la variedad de roles, reglas y de los posibles comportamientos de los participantes, involucrándolos en un aprendizaje de doble ciclo, que facilita la exploración de modelos mentales y el diseño de estrategias que propendan por el logro del objetivo común y a largo plazo, la sostenibilidad.

Este trabajo en desarrollo se propone construir juegos de simulación que incluyan en su diseño las orientaciones preliminares mencionadas, y a su vez llevar a la realidad, en una comunidad que depende económicamente de un RUC, dichos juegos para propiciar en los participantes una racionalidad estratégica, alimentada por las condiciones que hacen posible la cooperación.

VI. CONCLUSIONES

Es claro que hay una inquietante preocupación por el agotamiento de los recursos a nivel mundial y es por eso, que desde varios campos de la ciencia se han venido proponiendo alternativas para estudiar la problemática. Sin embargo, los estudios muestran que existe una constante disminución de la capacidad de gestión de los recursos. Es sugerido en este escrito que esta situación tiene que ver con el ser humano, con cómo el se relaciona con el mundo. Teniendo en cuenta que la racionalidad que subyace la toma de decisiones en un grupo de individuos que depende de un recurso común, a corto o largo plazo desencadena en un proceso de depredación del recurso, se puede vislumbrar la necesidad de una exploración más profunda de las razones que motivan al individuo a cooperar. En este sentido, se abre un camino hacia la recuperación del concepto de comunidad que trascienda la idea de grupo de individuos que se unen para satisfacer intereses propios. Este trabajo de investigación, desde la experiencia concreta de un caso particular,

proporciona orientaciones que conducen a inquietudes sobre el comportamiento de los individuos, y la influencia que en este tienen las concepciones sobre la cooperación, la responsabilidad, la confianza, y el cuidado. Partiendo de allí, es entonces posible volver a la pregunta sobre el papel de los juegos de simulación en el ejercicio de la toma de decisiones colectivas y en la creación de condiciones que hagan posible la cooperación en comunidades que comparten recursos.

REFERENCIAS

- [1] J. Forrester, "Industrial Dynamics", Productivity press. 1961.
- [2] J. Aracil, "Introducción a la Dinámica de Sistemas", Alianza editorial, España. 1978.
- [3] J. D. Sterman, "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World", McGraw-Hill/Irwin. 2000.
- [4] J. Forrester, "World Dynamics", Productivity Press. 1971.
- [5] D. Meadows et al. "The Limits to Growth", Universe books, New York. 1972.
- [6] D. Meadows et al. "Beyond the Limits: Confronting Global Analysis, Envisioning a Sustainable Future", Chelsea Green Publishing Company, Post Mills. 1992.
- [7] J. D. Sterman, "Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment", Management Science, Vol. 35, 321-329. 1989.
- [8] P. Senge, "The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization", New York, Doubleday. 1990.
- [9] E. Moxnes "Not Only The Tragedy Of The Commons, Misperceptions Of Bioeconomics", Management Science, 44(9): 1234-1248. 1998.
- [10] D. Meadows, et al. "Fish Banks, Ltd. A Microcomputer-Assisted Simulation Teaching The Principles For Sustainable Management Of Renewable Resources", The International Network for Resource Information Centers. 1987.
- [11] R. Campbell, "Background for the Uninitiated", Paradoxes of rationality and Cooperation, University of British Columbia Press, Vancouver. 1985.
- [12] G. Hardin, "The Tragedy of the Commons", Science, vol. 162, pp. 1243-1248. 1968.
- [13] E. Ostrom, "Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action", Cambridge University Press, Cambridge, New York. 1990.
- [14] G. Hardin, "Political Requirements For Preserving Our Common Heritage", H.P. Bokaw (ed.), Wildlife and America, Washington, Council on Environmental Quality, pp. 310-317. 1978.
- [15] D. W. Ehrenfield, "Conserving Life on Earth", Oxford University Press. 1972.
- [16] M. Olson, "The logic of collective action. Publics goods and the theory of groups", Cambridge Mass., Harvard University Press. 1965.
- [17] L. F. Medina, "A Strategic-Interaction Approach to the Collective Action Problem," forthcoming in Rationality and Society, vol. 17 (3). 2002.
- [18] T. Schelling, "The Strategy of Conflict". Harvard University Press, Cambridge, MA. 1960.
- [19] J. Elster "The Cement of Society". Cambridge University Press, Cambridge. 1989.

Autores

Gerly Carolina Ariza Zabala: Investigadora en formación del Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (Colombia). Ingeniera de Sistemas y Candidato a Magíster en Ingeniería. Ha trabajado en varios proyectos de investigación en donde se utilizan la Dinámica de Sistemas y los juegos de simulación en situaciones de aprendizaje organizacional y comunitario.

Ricardo Sotaquirá Gutiérrez: Docente, Investigador y Director del Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (Colombia). Miembro del Centro de Investigaciones en Sistemología Interpretativa de la Universidad de los Andes (Venezuela). Ingeniero de Sistemas, Magíster en Informática y Candidato a Doctor en Ciencias Aplicadas. Su principal interés en la investigación en los últimos años ha sido el estudio de la situación de injusticia social característica de los países latinoamericanos, desde la perspectiva del pensamiento sistémico.

Maria Cristina Serrano: Docente e Investigadora Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (Colombia). Ingeniera de Sistemas y Master of Science en Instructional Design and Organizational Learning. Ha trabajado en proyectos de investigación en donde se utilizan la Dinámica de Sistemas y los juegos de simulación en situaciones de aprendizaje organizacional y escolar.

Modelo dinámico poblacional para la gestión del recurso loco (Concholepas Concholepas)

Alvarez, Adolfo., Alfaro, Miguel.
{adolfo.alvarez, malfaro}@usach.cl
Universidad de Santiago de Chile

Resumen—La presente investigación tiene por objetivo general diseñar un modelo de simulación dinámico poblacional del molusco "Concholepas Concholepas" en la costa central de Chile, para analizar estrategias de gestión económica y sustentable de este recurso marino. Con esto se pretende contribuir tanto a la viabilidad del molusco en el tiempo, como a un mejor aprovechamiento económico y social de Concholepas Concholepas.

Se propone entonces abordar la problemática desde el punto de vista de la dinámica de sistemas, la cual consiste en identificar las variables y relaciones que describen el comportamiento de la extracción del recurso loco. En base a esta metodología, se desarrolla un modelo en el software de simulación Powersim

Finalmente, el modelo es sometido a la simulación de diversos escenarios de gestión del molusco. De esta manera, se comparan las principales medidas restrictivas que afectan a esta pesquería, proponiéndose a futuro, diversas estrategias de aprovechamiento del recurso..

Índice de Términos—Concholepas Concholepas Dinámica de sistemas, Gestión de recursos marinos, Modelo dinámico poblacional

I. INTRODUCCIÓN

La tesis consiste en el diseño de un modelo dinámico poblacional del molusco "Concholepas Concholepas" para la gestión económica sustentable de este recurso marino.

Concholepas Concholepas, más conocido por su nombre común "loco", es una especie de molusco gastrópodo, que se encuentra únicamente en las costas de Chile y parte del Perú. Por esta y otras razones que se detallarán más adelante, su carne ha sido muy apreciada tanto en Chile, como en el

extranjero. Históricamente, el recurso ha sido altamente explotado, llegando a una extracción máxima de casi 25 mil toneladas en 1980, sin embargo, la sobreexplotación del molusco amenazaba con desaparecerlo, por lo que los sucesivos gobiernos han implementado cuotas, vedas, tamaños mínimos y otras medidas que han disminuido su extracción hasta llegar a las 1600 toneladas durante el 2002.

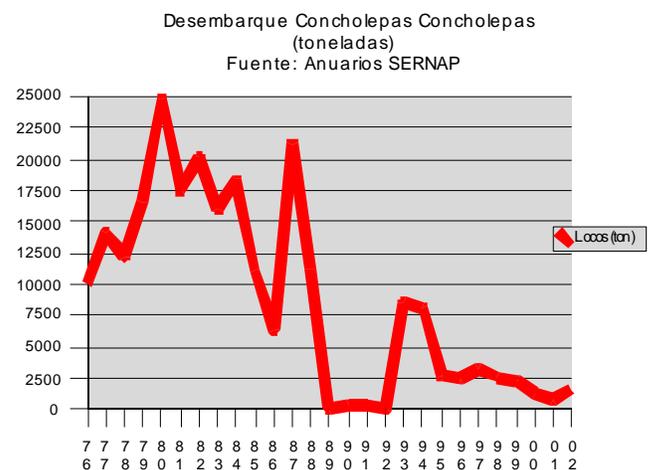


Fig. 1: Desembarque total de Concholepas en Chile. Fuente: Anuarios Servicio Nacional de Pesca, Chile.

Si bien las medidas implementadas han permitido resguardar el recurso de la extinción, su potencial económico no ha sido correctamente aprovechado, la extracción no ha podido realizarse en forma constante y, ante la veda, ha surgido el contrabando de modo que el aprovechamiento de este recurso se realiza de forma poco controlada e ineficiente.

II. OBJETIVO

El objetivo general de la investigación es diseñar un modelo de simulación dinámico poblacional del molusco "Concholepas Concholepas" en la costa central de Chile, para analizar estrategias de gestión

económica y sustentable de este recurso marino, mediante la dinámica de sistemas.

III. MÉTODOS

1) *Antecedentes.*

Borja y Bald (2000) analizaron a la almeja “*ruditapes decussatus*” a partir de la necesidad de las autoridades del país vasco (España) de evaluar el estado del recurso, el cual se sospecha ha estado sometido a sobreexplotación.

Para ello se quiso diseñar, basado en la metodología de la dinámica de sistemas, un modelo que permita simular el estado actual de la población de almejas, y luego ensayar distintas alternativas de manejo, como regular el número de mariscadores, cambiar el período de veda del recurso, o aumentar el tamaño mínimo de la extracción.

En cuanto al molusco loco, “*Concholepas Concholepas*”, las investigaciones publicadas han abarcado diversos aspectos, como su pesquería (Castilla, 1982); (Castilla, 1983); (Castilla, 1988), parámetros de edad y crecimiento (Guisado y Castilla, 1983); (Bustos, Robotham, Lara y Pacheco, 1986); (Wolff, 1989); (Stotz y Pérez, 1992) o su interacción con el hombre (Moreno, Sutherland y Jara, 1984); (Castilla y Durán, 1985); (Castilla, 1999). La dinámica poblacional del molusco loco, ha sido investigada por Geaghan y Castilla, 1985, en la cual se presentan modelos para obtener estimados de rendimientos óptimos y para simulación en prácticas de manejo.

2) *Situación Geográfica y datos del modelo.*

El modelo dinámico para la gestión del recurso loco, está basado en datos obtenidos en la localidad de El Quisco, que está ubicada en la Costa Central de Chile, en la V región de Valparaíso, provincia de San Antonio. Se encuentra a poco más de 100 kilómetros de Santiago, la capital de Chile, en la costa del Océano Pacífico y específicamente en situado en los 33° 23′ de latitud y 71 ° 42′ de longitud oeste.

En este lugar se ubica una caleta de pescadores

administrada por un sindicato con más de 130 miembros, quienes administran un área de 344,25 hectáreas marinas bajo la supervisión de la Subsecretaría de Pesca.

3) *Datos.*

Los datos requeridos para el modelo son, en resumen, los siguientes:

A. *Datos biológicos:* Tasas de reclutamiento, maduración y mortalidad. Relación entre peso, talla y edad del molusco. Fueron extraídos a partir del artículo de Geaghan y Castilla, 1985.

B. *Datos pesquería:* Tasas de extracción del recurso, precios, número de pescadores, etc, basados en datos estadísticos publicados por autoridades e instituciones pesqueras en Chile como Sernapesca o IFOP (IFOP, 1993-1998)

IV. EL MODELO

El modelo, como herramienta de representación, se propone plasmar lo más fielmente posible el sistema real compuesto por la población de locos en la Caleta “El Quisco” de la V región.

Esta población posee parámetros biológicos específicos, que varían según la edad de los individuos, además está afecta a la extracción por parte de los pescadores autorizados, actividad que a su vez está regulada por normativas legales. Tanto los aspectos biológicos propios de la especie, y su entorno natural, así como la situación pesquera a la que está sometido, deberán estar correctamente representados en el modelo.

Por otro lado, el modelo, visto como una herramienta de simulación, deberá ser capaz de simular distintas alternativas de manejo del recurso, como son la variación del tamaño mínimo, el número de pescadores, el período de vedas, entre otras medidas, y dar respuesta a las interrogantes del usuario del modelo (pescadores, autoridades, comunidad científica, etc.) en cuanto al comportamiento de la población de recurso bajo

estos distintos escenarios de manejo.

A. Definición de variables

Para evaluar el stock disponible del molusco loco se procede a dividirlo en cinco clases según edad. La división de clases se efectuó según parámetros biológicos, ecológicos y/o económicos obtenidos de la literatura. En particular Castilla, 1982, divide a la población en 3 clases: A, B y C, según el hábitat que ocupan: Intermareal, Intermareal Bajo y Submareal. La división propuesta en el presente trabajo se basa en esta división, manteniendo a las clases A y B, pero subdividiendo a la clase C en C1, C2 y C3.

La clase C1 se obtiene de aquellos locos pertenecientes a la clase C, pero que se encuentran protegidos de la extracción por ley, es decir poseen tallas inferiores a los 100 mm, mientras que la clase C2 se define entre los 100 y los 110 mm y la clase C3 como los superiores a esa talla, en función de la cantidad de extracción detectada para ambos tipos.

Un resumen de las características se presentan a continuación:

Tabla I
Características de las 5 clases de Concholepas Concholepas

Clase	A	B
Tamaño (mm)	0 – 30	30 – 60
Edad (meses)	0 – 11	12 – 25
Hábitat	Intermareal M.	Intermareal B.
Clase	C1	C2
Tamaño (mm)	60 – 100	100 – 110
Edad (meses)	26 – 52	53 – 62
Hábitat	Submareal	Submareal
Clase	C3	
Tamaño (mm)	110 y más	
Edad (meses)	63 y más	

En el caso de las variables de flujo son las que afectan directamente a la variación de la población de molusco loco y que a continuación se presentan:

En primer lugar se encuentra la tasa de reclutamiento, que incorpora nuevos individuos a la población. Estos nuevos individuos que se asientan en la roca, provienen de larvas que han pasado su tiempo de maduración en alta mar.

Posteriormente, entre cada una de las clases de moluscos definidas previamente, se encuentran las tasas de maduración, que se definen como el porcentaje de los individuos de una clase que pasa a la clase siguiente en un período de tiempo t.

Por otro lado, cada una de las clases posee también una cierta tasa de mortalidad natural, definida como el porcentaje de individuos que muere en un período de tiempo t.

Finalmente se encuentra la tasa de pesca, que es el porcentaje de individuos de una clase que es extraído por el hombre mediante un proceso pesquero. Esta tasa es la que será principalmente influida por las medidas administrativas a simular por el modelo.

Por otra parte, las variables auxiliares que influyen en el modelo son las siguientes:

Precio del molusco: precio de venta de la unidad de loco, con concha, en la caleta de El Quisco.

Número de pescadores: Cantidad de personas autorizadas para la extracción del recurso loco.

Cuota: Cantidad limitada de extracción del recurso, ya sea para la caleta en conjunto, o para cada pescador.

B. Especificación del modelo

Se ha definido anteriormente que la variable principal del modelo es stock de molusco loco, presente en un tiempo t, en la caleta “El Quisco”. Además, esta variable ha sido dividida en cinco clases, cada una con distintas características bio-ecológicas.

El tiempo (t) será contabilizado en meses, y el valor inicial t(0), será definido más adelante dependiendo de la simulación a realizar.

El stock total de molusco loco disponible en la zona está entonces definida por la suma de los stocks de cada clase, quedando definido de la siguiente manera:

$$\text{Stock}(t) = A(t) + B(t) + C1(t) + C2(t) + C3(t) \quad (1)$$

El stock disponible para cada una de las clases en un tiempo t está definido entonces por el stock de la misma clase en el tiempo t-1, más los que maduraron de una clase anterior (o los asentamientos en el caso de la primera clase) menos los que maduraron hacia la siguiente clase menos aquellos individuos que mueren ya sea por mortalidad natural o por pesca.

Matemáticamente, los stocks por clase se definen de la siguiente manera:

Clase A:

$$A_t = A_{(t-1)} + R - M_A \cdot A_{(t-1)} - D_A \cdot A_{t-1} - C_{A(t-1)} \cdot A_{(t-1)}$$

Clase B:

$$B_t = B_{(t-1)} + M_A \cdot A_{(t-1)} - M_B \cdot B_{(t-1)} - D_B \cdot B_{t-1} - C_{B(t-1)} \cdot B_{(t-1)}$$

Clase C1:

$$C1_t = C1_{(t-1)} + M_B \cdot B_{(t-1)} - M_{C1} \cdot C1_{(t-1)} - D_{C1} \cdot C1_{t-1} - C_{C1(t-1)} \cdot C1_{(t-1)}$$

Clase C2:

$$C2_t = C2_{(t-1)} + M_{C1} \cdot C1_{(t-1)} - M_{C2} \cdot C2_{(t-1)} - D_{C2} \cdot C2_{t-1} - C_{C2(t-1)} \cdot C2_{(t-1)}$$

Clase C3:

$$C3_t = C3_{(t-1)} + M_{C2} \cdot C2_{(t-1)} - M_{C3} \cdot C3_{(t-1)} - D_{C3} \cdot C3_{t-1} - C_{C3(t-1)} \cdot C3_{(t-1)}$$

Stock:

$$S_t = A_t + B_t + C1_t + C2_t + C3_t$$

En donde:

X_t : Población de moluscos de la clase X, presente en el tiempo t.

S(t): Población de moluscos total, presente en el tiempo t.

R: Tasa de reclutamiento. Mide la cantidad mensual de individuos que logra reclutar en la roca, logrando integrarse a la población de locos.

M_X : Tasa de maduración de la clase X. Mide el porcentaje de individuos de la clase que pasa a la

clase siguiente en un mes, expresada como un valor entre 0 y 1.

D_X : Tasa de mortalidad natural de la clase X. Mide el porcentaje de individuos de la clase que muere por todas aquellas causas que no sean la extracción humana en un mes, expresada como un número entre 0 y 1.

$C_{X(t)}$: Tasa de captura de la clase X en el tiempo t. Mide el porcentaje de individuos de la clase que muere debido a la extracción humana en un mes t, expresada como un número entre 0 y 1.

C. Supuestos del modelo

Los supuestos del modelo son los siguientes:

A. La tasa de crecimiento del molusco loco está definida por la siguiente ecuación, presentada por Castilla y Geaghan (1987)

$$L = 168,241[1 - e^{-0,202(t+0,035)}]$$

Donde:

L: Longitud peristomal en mm.
t: Edad del individuo, en años.

B. Los individuos que miden menos de 100mm no están sujetos a extracción.

C. En períodos de veda, la extracción de molusco es cero.

D. La tasa de reclutamiento es constante, es decir, no depende del stock de moluscos disponibles, debido a que las larvas permanecen 6 meses en el mar abierto, por lo que los individuos reclutas provendrán de distintos lugares de la costa chilena.

E. La tasa de mortalidad natural de cada clase es constante. Puesto que es una variable biológica, no depende del tiempo t.

F. La tasa de maduración de cada clase es

constante. Puesto que es una variable biológica, no depende del tiempo t.

D. Estimación de parámetros

Las edades y tallas de los individuos de Concholepas Concholepas, son estimadas mediante la aplicación de dos ecuaciones, de crecimiento y de peso, propuestas por Geaghan y Castilla (1987):

$$L = 168,24[1 - e^{-0,202(t+0,035)}] \text{ y}$$

$$W = 6,557 \cdot 10^{-5} \cdot L^{3,265}$$

Donde:

- L: Longitud peristomal en mm.
- t Edad del individuo, en años.
- W: Peso del individuo, en gramos

Castilla, 1983, postula que para las poblaciones juveniles de Concholepas Concholepas se esperan tasas de mortalidad muy elevadas, en función de la estrategia reproductiva y ovopositora. En especies similares entre el 90 y 99% muere dentro de los primeros 10 meses de vida.

En cuanto a la población adulta, el fondo de investigación pesquera (FIP), calculó una tasa de mortalidad en la V región de un 23% anual.

Con estos datos, se procede a calcular los parámetros de mortalidad para cada una de las clases:

Tabla II

Tasas estimadas de mortalidad natural, según clase, del molusco Concholepas Concholepas

Tasas de mortalidad	Clase A	Clase B
	D(A)	D(B)
Clase C1	Clase C2	Clase C3
D(C1)	D(C2)	D(C3)
0,0328	0,0328	0,0328

Las tasas de maduración, se definen como el porcentaje de individuos de una clase, que pasa a la clase siguiente. Como la distinción de clases se ha realizado según edad, la principal variable a tener en cuenta para estimar una tasa de maduración es el tiempo t, que como se mencionara anteriormente, está expresado en meses.

Las tasas estimadas de maduración son las siguientes:

Tabla III

Tasas estimadas de maduración, según clase, del molusco Concholepas Concholepas.

Clase A	Clase B	Clase C1	Clase C2
0,2586	0,2323	0,1441	0,2929

En el caso del reclutamiento, el Departamento de Ecología de la Pontificia Universidad Católica de Chile, ha realizado muestreos trimestrales de población del molusco loco en la costa central de Chile, durante los últimos 15 años. A partir de estos datos, se obtiene el siguiente histograma de frecuencias de la población media de individuos reclutas por metro cuadrado.

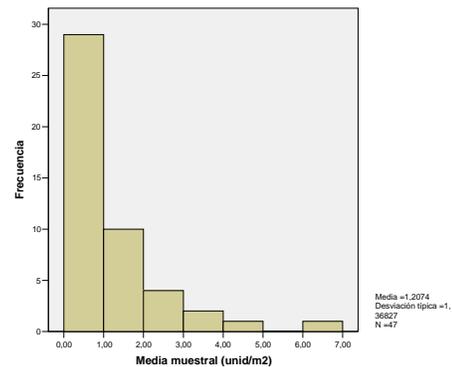


Fig. 2: Histograma de frecuencias de la población media de individuos reclutas por metro cuadrado

Al aplicar una conversión logarítmica, los datos se ajustan a una distribución normal con media igual a -0,306575, y con desviación estándar igual a 1,09724.

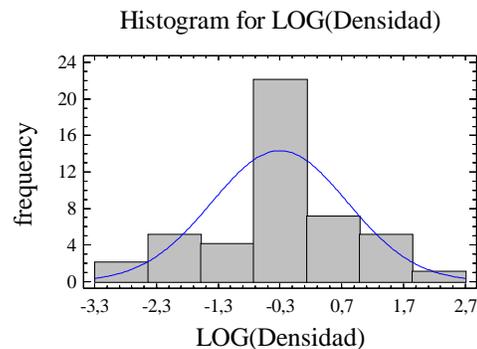


Fig. 3: Histograma de frecuencias del logaritmo natural de la población media de individuos reclutas por metro cuadrado

Como se mencionara anteriormente, el área de estudio comprendida por la presente investigación es la Caleta “El Quisco”, que comprende la concesión estatal de 344250 m², de las cuales aproximadamente un quinto, es decir 68850 m² corresponden a la zona de reclutamiento.

Finalmente, en el caso de las tasas de captura, estas se definen principalmente en función de las medidas restrictivas aplicadas, y a continuación de otras variables como el precio del molusco, el esfuerzo de pesca (horas-buceo), y el número de viajes realizados para pescar.

Realizando un modelo de regresión lineal en Statgraphics, basado en datos de unidades extraídas, precio, esfuerzo y viajes, durante 6 años en el período 1993 – 1998, en distintas caletas de la V región, se obtiene la siguiente relación entre la cantidad de moluscos extraída, y las demás variables pertinentes.

Multiple Regression Analysis

Dependent variable: Unidades

Parameter	Estimate	Standard Error
CONSTANT	8066,25	8363,21
Esfuerzo	26,5399	8,08107
Precio	2,00616	16,3854
Viajes	275,766	69,4501

F-Ratio = 26,89

Df = 3,45

p-value = 0,0000

R-squared = 64,191 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 61,8037 percent

Standard Error of Est. = 17434,2

Mean absolute error = 12826,9

Durbin-Watson statistic = 2,14035

Finalmente, el modelo se expresa como:

Unidades = 8066,25 + 26,5399*Esfuerzo +2,00616*Precio + 275,766*Viajes. Además, se observa un grado de ajuste aceptable (64,191%) y que el modelo es significativo al 5%.

V. CASOS DE EVALUACIÓN

A. Sistema libre de pesquería (Captura = 0%)

Este primer caso, se utiliza para evaluar el comportamiento del sistema, en ausencia de intervención humana. El molusco loco, Concholepas Concholepas, es el predador dominante de su sistema ecológico, y sólo es devorado en pequeñas cantidades por algunas aves y/o crustáceos, por lo que se espera que la población crezca abruptamente hasta un cierto punto, donde la población se estabilice debido a la capacidad de carga que posea el sistema estudiado.

Simulando este primer caso, a 20 años, se obtiene el siguiente comportamiento del sistema:

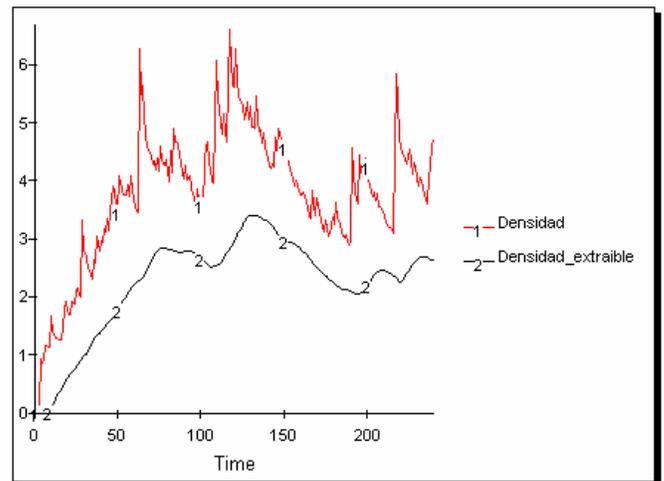


Fig. 4: Serie de tiempo de la densidad total y de la densidad de moluscos extraíbles, bajo pesquería libre.

Se puede observar que luego de un abrupto crecimiento durante los primeros 5 años, luego la población de moluscos por metro cuadrado tiende a estabilizarse alrededor de 4 individuos/m², de los cuales más del 60% corresponden a individuos “extraíbles”, es decir, pertenecientes a las clases C2 y C3.

B. Sistema de pesquería total (Captura = 100%)

Contrario a la situación anterior, ahora se evalúa el sistema bajo pesquería total, sin más regulación que la protección del tamaño mínimo (Supuesto

'b'). En este caso, al no haber restricciones, la pesquería se concentra en extraer el 100% de los individuos mayores a 100mm.

El comportamiento del sistema es el siguiente:

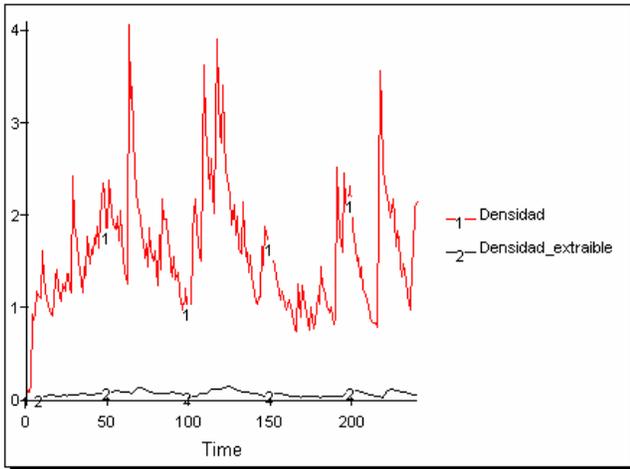


Fig. 5: Serie de tiempo de la densidad total y de la densidad de moluscos extraíbles, bajo pesquería total.

Se observa que la densidad de la población de moluscos disminuye notoriamente con respecto al caso anterior. En esta ocasión, la cantidad de moluscos por metro cuadrado fluctúa alrededor de 1.5 individuos/ m^2 , lo que denota un retroceso de más de un 60%.

Este retroceso se explica al observar la densidad de locos extraíbles, esto es, aquellos mayores a 100 mm, se observa que es muy baja o nula. Es decir, si bien aún es posible encontrar un stock de moluscos relativamente aceptable, estos sólo se tratan de individuos pequeños y por tanto, no comercializables.

La población de moluscos no se ha puesto en peligro con esta extracción masiva, ya que el reclutamiento no depende necesariamente de la población adulta presente (las larvas pueden provenir de otras latitudes). Sin embargo, si se generaliza la extracción masiva a lo largo de todo el hábitat de Concholepas Concholepas, por supuesto que la especie tendería rápidamente a desaparecer.

C. Pesquería en función de otras variables.

El tercer caso, considera que la extracción está regulada por tres factores: Número de viajes (sumatoria de todos los viajes realizados por los botes pesqueros de la caleta), Esfuerzo de Pesca (número de horas-buceo destinadas a la extracción) y Precio del molusco (en moneda local). Utilizando los valores medios de los últimos años en la Caleta "El Quisco", de estas tres variables, se obtiene el siguiente comportamiento del sistema.

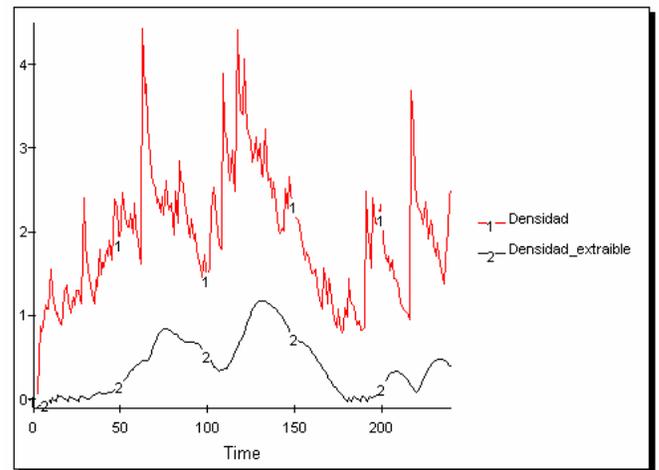


Fig. 6: Serie de tiempo de la densidad total y de la densidad de moluscos extraíbles, bajo pesquería en función de los valores medios de esfuerzo de pesca, viajes realizados, y precio del loco.

Se observa que la cantidad total de moluscos es similar a la observada en el caso anterior, pero hay un incremento en la cantidad de moluscos de tamaño mayor a los 100 mm.

Con este caso, pueden simularse distintos escenarios variando las tres variables de interés. A modo de ejemplo, si se duplica el número de embarcaciones autorizadas en la caleta (manteniendo constante el número de viajes realizado por cada uno de los botes), la cantidad de moluscos extraíbles disminuye notoriamente como se observa en el siguiente gráfico:

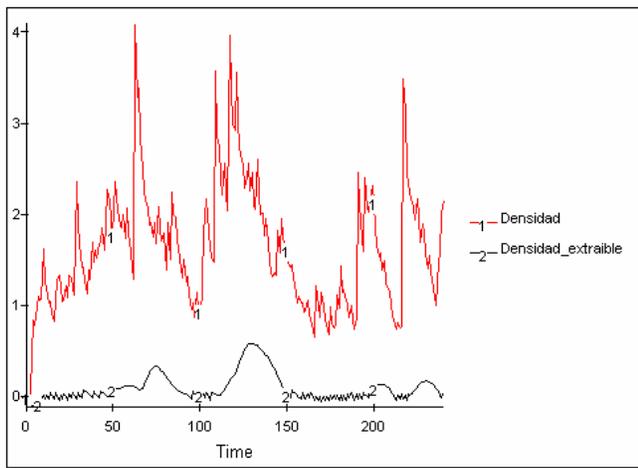


Fig. 7: Serie de tiempo de la densidad total y de la densidad de moluscos extraíbles, bajo pesquería en función de los valores medios de esfuerzo de pesca y precio del loco, duplicando el número de botes.

D. Incorporación de períodos de veda.

El Gobierno de Chile, prohíbe la extracción del recurso loco durante ciertos períodos de tiempo, en función de la protección del recurso. En particular, cuando el stock se encuentra en un nivel relativamente “normal”, esta veda alcanza los 5 meses.

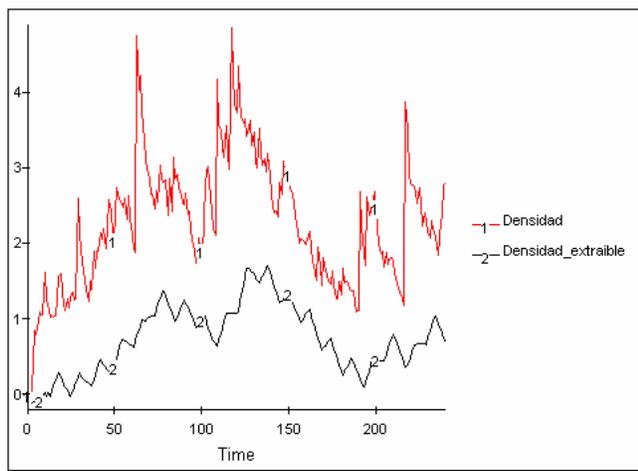


Fig. 8: Serie de tiempo de la densidad total y de la densidad de moluscos extraíbles, bajo un período de veda de 5 meses al año.

Se observa en el gráfico anterior, que, considerando un período de veda de 5 meses al año, el stock, y por tanto la densidad, de moluscos mayores a 100 mm, se incrementa a cerca de 1 individuo/ m^2 .

Este caso permite observar el comportamiento del sistema, variando el período de veda. A modo de ejemplo, si se considera la autorización de extracción de sólo 1 mes al año, el stock extraíble aumenta alrededor de un 100%, como se observa en el siguiente gráfico.

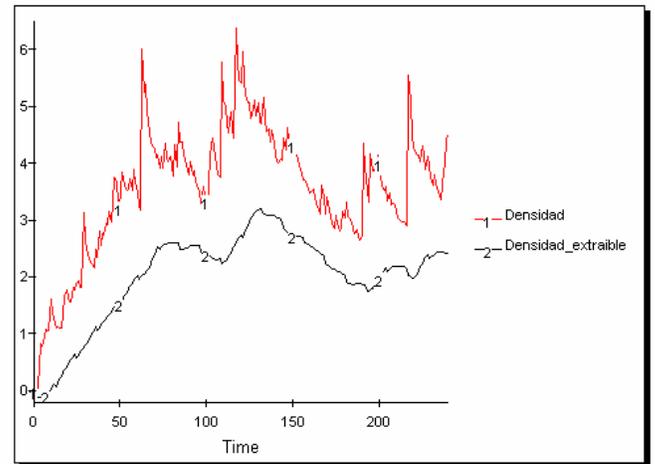


Fig. 9: Serie de tiempo de la densidad total y de la densidad de moluscos extraíbles, bajo un período de veda de 11 meses al año.

VI. EXTENSIONES DEL MODELO Y CONCLUSIONES

El modelo dinámico poblacional para la gestión del molusco loco “Concholepas Concholepas”, permite realizar distintas alternativas de gestión del recurso. En particular, se analizó la variación de parámetros como el número de viajes realizados por los pescadores de la Caleta de Las Cruces, o el cambio de los períodos de veda decretados por la autoridad competente. Sin embargo, el modelo permite también combinar estas alternativas, además de variar otras como el precio del molusco, o la tecnología incorporada a la pesca (a través del esfuerzo de pesca y/o el número de viajes realizados)

En general el modelo demuestra la necesidad de una regulación en el ámbito pesquero, y permite a futuro, la incorporación y evaluación de otras medidas, como la asignación de cuotas de extracción, la variación del tamaño mínimo, etc, sin necesidad de grandes variaciones en su estructura.

Es importante destacar, que el modelo fue realizado con datos biológicos y económicos del sistema de “concholepas concholepas”, en una zona bien delimitada: la V región de Valparaíso, Chile, y, en particular, su caleta de “Las Cruces”, por lo que la aplicación en otras zonas, o la realización de un modelo nacional requeriría, necesariamente, nuevas estimaciones de parámetros que satisfagan, las diferencias existentes a lo largo del país.

Finalmente, el modelo cumple con describir el sistema ecológico-económico del molusco loco, y con la evaluación de las alternativas de manejo, abriendo la posibilidad de incorporar nuevas funcionalidades a futuro, así como un interfaz interactivo que permita mayor simplicidad para el tomador de decisiones.

REFERENCIAS

- E. Bustos, H. Robotham, E. Lara, E. Pacheco, “Edad y crecimiento de *Concholepas concholepas* y consideraciones a la aplicación de la ecuación de von Bertalanffy (*Gastropoda – Muricidae*)”. *Investigaciones Pesqueras* 33. 33-45. 1986.
- C. Moreno, J. Sutherland, H. “Jara, *Man as predator in the intertidal zone of southern*” Chile. *OIKOS* 42. 155 – 160.
- A. Borja, J. Bald, “*Modelling the Management of Clam (Ruditapes decussatus) Exploitation in the Basque Country (Northern Spain)*”. *Periodicum Biologorum*, supplement 1. Vol 102. 395 – 406. 2000.
- J.C. Castilla, *Pesquería de moluscos gastrópodos en Chile: concholepas concholepas, un caso de estudio*. *Monografías Biológicas* (2) 199 – 212. 1982.
- J.C. Castilla, *El recurso Concholepas concholepas, su biología y estado en que se encuentra la pesquería en Chile*. *Análisis de pesquerías Chilenas*, Universidad Católica de Valparaíso. 1983.
- J.C. Castilla, “*Una revisión bibliográfica (1980-1988) sobre concholepas concholepas (Brugiere, 1789) (gastropoda, muricidae): problemas pesqueros y experiencias en repoblación*” *Biología Pesquera* 17. 9-19. 1988.
- CH. Guisado, J. C. Castilla, “*Aspects of the ecology and growth of an intertidal juvenile population of Concholepas concholepas (Mollusca: Gastropoda: Muricidae) at Las Cruce*”, Chile. *Marine Biology* 78. 99-103. 1983.
- M. Wolff, *Estimates of Growth, Mortality and Recruitment of the Loco Concholepas concholepas (Brugiere, 1789) Derived from a Shell Mound in Northern Chile*. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. Vol 24. 87-96. 1989.
- W. Stotz, E. Pérez, “*Crecimiento y productividad del loco Concholepas concholepas (Brugiere, 1789) como estimador de la capacidad de carga en áreas de manejo*”. *Investigaciones Pesqueras* 37. 13-22. 1992.
- J.C. Castilla, L. R. Durán, “*Human exclusion from the rocky intertidal zone of central Chile: the effects on Concholepas Concholepas (Gastropoda)*”. *OIKOS*. Vol. 45. 391 – 399. 1985.
- J.C. Castilla, “*Coastal marine communities: trends and perspectives from human-exclusion experiments*. *Trends in Ecology & Evolution*”. Vol. 14. 280 – 283. 1989.
- Instituto de Fomento Pesquero, IFOP (1993- 1998). *Monitoreo de la pesquería del recurso loco, 1993- 1998*. *Informes técnicos FIP, FIP-IT* (1993 – 1998)

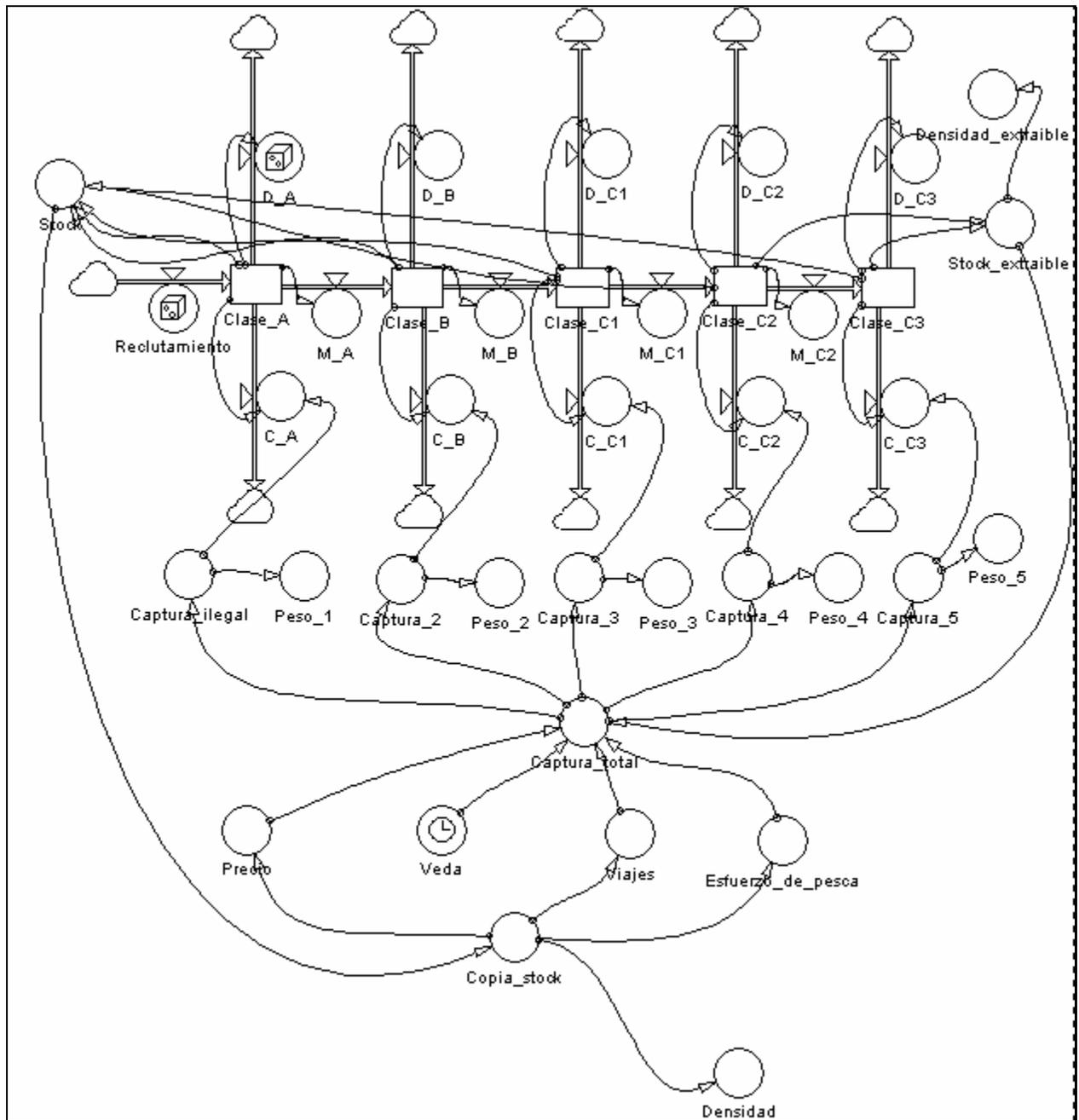


Fig. 10: Modelo dinámico poblacional para la gestión del recurso loco "Concholepas Concholepas".

Animación en Flash del Cuento "If You Give a Mouse a Cookie" para la Transmisión de Ideas Dinámicas Sistémicas en el Ambito infantil y Empresarial

Prieto Samuel, Rodríguez, Rodolfo
prietosamuel@hotmail.com, rodriguez_rodolfo@yahoo.com.mx
Universidad del Magdalena

Resumen—En este poster se presenta la animación en flash del cuento “if you give a mouse” (Si le das una galletita a un ratón) de Laura Numeroff que permite mostrar la utilidad de la herramienta de animación para transmitir ideas dinámicas sistémicas y que complementa la ponencia denominada "el uso de cuentos y caricaturas para la transmisión de ideas dinámicas sistémicas en el ámbito infantil y empresarial" y presentado en este mismo encuentro Latino Americano.

La transmisión de conceptos e ideas desde hace mucho tiempo se hacen mas fácil con el uso de metáforas, parábolas o cuentos debido a que con estas herramientas, las personas no se sienten atacadas o agredidas, es de mayor recordación y el vocabulario utilizado no es extenso lo que hace su comprensión mas rápida y su alcance a un público mayor.

La literatura infantil contiene cuentos o relatos que pueden ser usados para transmitir ideas dinámicas sistémicas a los niños como lo expone "Linda Booth Sweeney" en su libro “When a Butterfly Sneezes”, donde muestra doce (12) cuentos norteamericanos que sirven como herramienta para la transmisión de ideas dinámicas sistémicas de una forma sencilla y uno de ellos es "if you give a mouse" de Laura Numeroff.

En este poster mostramos como la animación de caricaturas puede ser usadas para incentivar la adopción de las herramientas del cuento y caricatura para la transmisión de ideas dinámicas sistémicas en español, que consideramos serian de utilidad para llegar a un público mayor y de mayor recordación.

Este trabajo usando una herramienta de animación como flash muestra una herramienta que complementa el uso del cuento y la caricatura para la transmisión de ideas dinámicas-sistémicas. Es decir que las tres herramientas combinadas (Cuento -

Caricatura y Animación) serán una estrategia útil que deberá ser usada en el contexto Latino Americano.

I. ANIMACIÓN EN MACROMEDIA FLASH DEL CUENTO “IF YOU GIVE A MOUSE”

El cuento “if you give a mouse” (Si le das una galletita a un ratón) de Laura Numeroff es uno de los cuentos que describe Linda Booth Sweeney como útiles para describir fenómenos circulares propios de lo dinámico Sistémico. El cuento describe como un ratón pide una galletita y esto desencadena otra serie de hechos tales como solicitar un vaso de leche, pedir un sorbete y servilleta y luego algo para limpiarse los bigotes por que se ha ensuciado etc, llegando ha ocurrir un sin número de eventos (17 escenas) para al final llegar a la situación inicial. Esto podría describirse como un sencillo diagrama causal como se muestra:

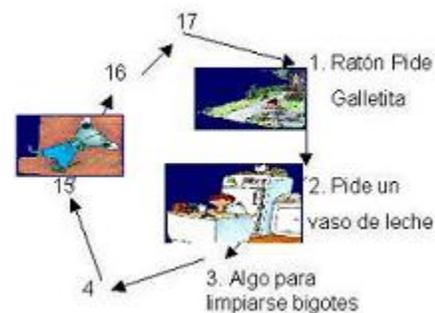


Fig. 1. Diagrama Causal. Si le das una galletita a un ratón

La circularidad y las consecuencias de acciones realizadas son los principales componentes de este cuento y es utilizado magistralmente por la autora para mantener cautivo al lector. Los gráficos utilizados en el cuento tienen un diseño agradable y bastante colorido, lo que lo ha hecho uno de los cuentos de mayor recordación en el público Norte Americano. En este trabajo en modalidad de poster hemos querido animar este cuento en macromedia flash para dar una muestra de las diversas herramientas que se pueden usar para transmitir ideas dinámico sistémicas.

Para esto hemos adaptado el cuento de Laura Numeroff si le das una galletita a un ratón usando la idea básica de animación mediante el uso de dibujos consecutivos hasta completar una escena, presentaremos en modalidad de póster tanto los dibujos utilizados como la animación flash en computador.



Fig. 2: Ejemplo de dibujos de Animación flash del cuento

II. CONCLUSIONES

Las historias para niños siempre han cautivado nuestra atención por su poder de comunicar conceptos muchas veces difíciles de entender. En este poster se muestra la animación en flash de macromedia de uno de los cuentos infantiles Norte Americanos mas populares y que pueden ayudar a transmitir las ideas dinámico sistémicas como es "if

you give a mouse" (Si le das una galletita a un ratón) de Laura Numeroff como lo expone "Linda Booth Sweeney" en su libro "When a Butterfly Sneezes", donde muestra doce (12) cuentos norteamericanos que sirven como herramienta para la transmisión de ideas dinámico sistémicas de una forma sencilla. Siguiendo esta misma estrategia seria conveniente en el contexto Latino Americano la creación de animaciones que permitan difundir las ideas dinámico sistémicas tanto en un público infantil como empresarial.

REFERENCIAS

- J. Aracil, "Introducción a la dinámica de sistemas". Madrid, Ed. Alianza. 1997.
B. Johansen, ".Introducción a la Teoría General de Sistemas".. Edit. Limusa. 1993.
Senge, P.(.1999). "La Quinta Disciplina". Editorial Granica. Barcelona
J. Numeroff, "If you give a mouse a cookie". HarperCollins Publisher. 2001

Portal de Daviud Hutchens donde tiene descripción de su experiencia profesional y de su actividad como escritor
www.clexchange.org, www.davidhutchens.com

Portal de aplicación de la Dinámica de Sistemas a la escuela y colegio, en ella se encuentran artículos de Linda Linda Booth Sweeney
<http://cte.seebc.gob.mx/cuentos/libroratongalleta.htm>

En este sitio se encuentra el cuento "Si le das una galletita a un ratón" de Laura Numeroff
<http://serenity.magickgarden.com/greenhouse/stories/lorax.html>
En este sitio se encuentra el cuento "The Lorax" del Dr. Seuss

Autores

SAMUEL PRIETO MEJÍA, 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 GIAO reconocido por COLCIENCIAS en el área de Aprendizaje Organizacional.

RODOLFO RODRÍGUEZ CADENA

Ingeniero de Sistemas, Universidad Manuela Beltrán de Bucaramanga, Docente Catedrático en el área de Objetos y Programación, de la Universidad del Magdalena, Integrante del

grupo GIAO reconocido por COLCIENCIAS en el área de
Aprendizaje Organizacional.

CO₂ Taxes and Tradable Quotas, Experimental Evidence of Biased Decisions

Agudelo Assuad., Carla Susana., Moxnes, Erling.
Carla.Assuad@student.uib.no Erling.Moxnes@geog.uib.no
University of Bergen, Norway

Abstract— Developed countries should find cost-effective ways to decrease Green House Gas (GHG) emissions to comply with their Kyoto Protocol targets by year 2012. The target can be achieved either by domestic emission reduction or by buying quotas in international markets. Policy makers have to choose between these policy options and decide to what extend and when to use them. Bias in the decisions may occur because the choice of policy is complicated by dynamics and uncertainty. To explore the possibility of misperceptions we perform a laboratory experiment. Biases in the implementation of the policies were found.

Key Words —Laboratory experiment, bias decision making, climate policies, misperception

I. INTRODUCCIÓN

Developed countries should find cost-effective ways to decrease Green House Gas (GHG) emissions to comply with their Kyoto Protocol targets by year 2012. The target can be achieved either by domestic emission reduction or by buying quotas in international markets. Policy makers have to choose between these policy options and decide to what extend and when to use them. In democratic countries these choices may be constrained by limited information and misperception among voters and politicians. Bias in the decisions may occur because the choice of policy is complicated by dynamics and uncertainty. To explore the possibility of misperceptions we perform a laboratory experiment where subjects are asked to make this difficult policy decision during 12 years preceding 2012.

The greatest challenge is to deal with the task of replacement of existing capital. Replacements take

place at long intervals of time introducing delays. Since emissions depend highly on capital equipment, it will also take time to reduce emissions. Therefore, an appropriate policy must take account of these delays. Few of the existing papers deal with these dynamics, when discussing policies for emission reductions¹. The most relevant paper seems to be Lecocq et al (1998). They studied the impact over time of CO₂ emission abatement policies. They use an energy model with two sectors (flexible: housing and rigid: transport). They conclude that there is a need of early actions to reduce emissions in sectors that need time to replace old equipment. This is a rare, however, key insight for the problem we pose in this study.

It seems unlikely that subjects get much guidance from the ongoing debate where the dynamics of replacement are hardly ever mentioned. From past works like Funke (1991), Moxnes (1998, 2004) and Sterman (1998a) there is evidence of misperception of dynamics, for instance misperceptions of delays (Brehmer, (1989) Sterman, (1998b)). People misconceive and mismanage complex problems and the policies to address those problems (Meadows,

¹ Studies are focused on estimating curves of Marginal Abatement cost based on aggregate macroeconomic models or engineering approaches (Ellerman and Decaux, 1998; Criqui *et al.*, 2002). Other studies analyze and compare different climate policies to reduce emissions using cost-effective and cost-benefit analysis (Yohe and Wallece, 1996; Nordahus, 1994; Kolstad, 1996). This is namely research regarding emission trading for instance, laboratory experiments have been used to study market efficiency (Bohm and Carlén, 1999), however, these experiments do not include much dynamics. The majority of these studies are focused on the discussion of what decision-makers should do and providing simple heuristics among for makers and politicians.

1999). This evidence and the lack of common information on the dynamics, make us suspect the existence of learning problems. Hence, we hypothesize biases and misperceptions when people address the problem of reducing GHG's.

Using laboratory experiments we investigate the existence of biases when people have to decide about emission reductions policies² to comply with an emission target. If we reveal misperceptions this should motivate a next step to formulate policies to correct biases.

The laboratory experiment is designed as follows. Information about abatement cost is given to the subjects in terms of a curve showing the long term costs of emission reductions. We consider two treatments. In treatment 1 single players are asked to reduce emissions by imposing a tax from 2000 until 2012 to reach their emission target. Starting from the same design, we add complexity in treatment 2 by adding a market for emission quota trading between players. Each market has five players with the same conditions (symmetric). Since the game is symmetric, proper actions to reach the target emissions require the same tax policy as in treatment 1. In both treatments there is the same discount rate and players are punished if they do not comply with the target at the end of the period. They get paid according to how well they perform.

The main questions of the research are: Will people set sufficiently high taxes and will they do it early enough to meet the target in an optimal manner? Will people have biased expectations about the optimal price in the quota market? Will people prefer to use the market rather than the tax or vice versa? What is the effect on the tax of having a trade option?

Interestingly we found that people set low taxes to reach the emission target. Emission quota prices fall around the discounted punishment and are significantly high than taxes.

This paper is organized as follows: In section two we describe the model. In section three the experimental design and hypotheses are presented. The results are presented in section 4. Discussions

and conclusions are given in section 5.

II. THE MODEL

A. Purpose of the model

The experiment will recreate some aspects of the Kyoto Protocol³, for that reason it will make use of a simulator. This simulator should capture the way taxes influence emission of green house gases. Since there is limited time before the requirements of the Kyoto Protocol should be met (2012) it is particularly important that the simulator captures the dynamics of the emission reduction. The mayor dynamics in emission reduction arise from the capital stock turnover. Furthermore, the model represents the market for quota trading between countries.

The model is highly aggregated and has two main structures, the domestic reductions and the quota market

B. Domestic Reduction Structure

1) *Replacement*: Greenhouse gases (GHG's) occur naturally in the atmosphere, while others result from human activities. In general GHG's from human activities are produced by energy consumption and by agricultural and industrial processes which are influenced by the population size and the level of economic activity. The Gross Domestic Product (GDP) is used as an index of economic activity, there is certain correlation between GDP and GHG emissions. The rate of production in a country depends on the existing capital stock. Therefore, it can be assumed that the GHG emissions are correlated with the capital stock in a country. Depending of how much capital the country has, there will be certain amount of GHG emissions. The stock and flow diagram in a coflow structure in figure 1 illustrates the dynamics of country emissions reductions.

Available energy production models that measure GHG emissions are disaggregated, and do not permit to have a comprehensive idea of the entire

³ The Kyoto Protocol is a convention that 156 countries have commit with, to reduce green-house gas emissions of at least 5% from 1990 levels by the year 2012. More information is available at: www.unfccc.int

² Tax and international emission trading.

stock-capital-emission system described above (Lecocq, 1998). The approach that Lecocq (1998) gives to the STARTS model relies on an aggregated level in order to study the inertia of the capital stocks. Although Lecocq model is build for a different purpose than ours, we will use his design as a base for our model because of the similarities on the boundaries and the dynamics involved in the system.

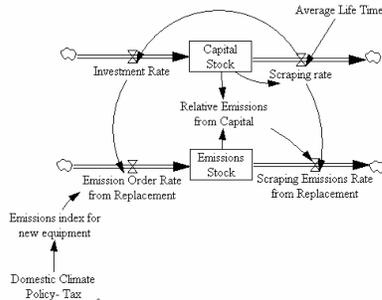


Fig. 1 Country Emission Reduction Dynamics

In figure 1 the stock of Capital (upper rectangular box) increases by Investment and decreases by the Scraping rate (pipe with valve). Scraping is equals the capital divided the average life time. When the Investment rate (inflow) is equal to the Scraping rate (outflow) the stock is in equilibrium, meaning that no changes are happening in the capital, people are investing exactly what is discarded.

Each sector of the economy that constitutes the capital stock like transport, industry, commerce, housing and energy emit CO₂ and other gases. Therefore a flow of the capital equipment (investment-stock-scraping) is a flow of emissions as well. While capital is going in and out of the stock, emissions regarding that capital are having the same behavior. The lower component of figure 1 illustrated that dynamics

The quantity of the Investment rate defines the inflow of the stock of Emissions converted to emissions by the Emission Index for New Equipment determined by the Climate Policy Applied. The relation between the current emissions and existing capital is given by the Relative Emissions from Capital. Each unit leaving the stock of capital removes its relative quantity of emissions. This structure is very useful because it permits to

keep track of the emissions of every new investment and every scraping.

The differential equation to describe the stock-and-flow diagram is

$$(1) \frac{dES}{dt} = (SIR * EINE) - (SIR * RER)$$

Where *ES* is the Emissions stock, measured in CO₂ equ. tons⁴. *SIR* is the Scrapping and Investment Rate, the product of two parameters Initial Emissions (*IE*) and Average Life Time (*ALT*). The Emission Index for New Equipment (*EINE*) is the efficiency in reducing emissions and it depends the domestic policy, in this case is the tax. The inflow (first term in (1)) minus the outflow (second term in (1)) describe the changes in the stock over time.

The life time of capital varies regularly from 5 to 25 years. This factor generates significant delays between the inflow and the outflow of the capital stock. To reproduce the effect of the delays on the scraping rate, we disaggregate the capital stock in an aging chain structure (called cohorts).

The Emission Stock is now divided into six emissions stocks, *ES_i* *i*=1...6, each of them representing a different capital age. With this partition the scraping of the capital will depend on the age of the item in the capital. This structure will give more reality to the model regarding the inertia that capital vintage produce in an economy. The following equations describe the cohort structure.

$$(2) \frac{dES_1}{dt} = ERO - ERR_1$$

$$(3) \frac{dES_i}{dt} = ERR_{i-1} - ERR_i \quad i = 2...5$$

$$(4) \frac{dES_6}{dt} = ERR_5 - Scraping$$

$$(5) ERR_i = \frac{ES_{i-1}}{RER_i} \quad i = 1...6$$

Where (2) is the first stock, *ERO* is the Emission Order Rate and *ERR1* is Emissions Replacement

⁴ According to the IPCC all the GHG can be converted in equivalent units of CO₂ using the Global Warming Potentials (GWP) source of GWP: Climate Change 1995: The Science of Climate Change, table 4, p. 22, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996).

Rate, the transition rate to the second stock. Equation (3) is the general equation for the intermediary stocks. Equation (4) describes the last stock. Equation (5) is the transition rate for Emission Stock *i*, equals the preceding Emissions

1) *Retrofit*

Besides waiting for the capital to be discarded and replaced, activities to accelerate the process of replacement can be done. These “early replacements” are called retrofit and consist of installing devices (new or modified parts or equipment), in previously manufactured or constructed capital to reduce their GHG emissions. Retrofit can be executed in many ways, the most relevant sectors are:

A. *Transport*: Most of the retrofit in this sector is done on diesel engines installing devices (such as filters) on the engines.

B. *Residential and Non-commercial Public Sector*: The residential sector has a lot of alternatives for retrofitting such as: solar water heating, condensing bowlers, wall and roof insulations, insulated windows, heat pumps and efficient lighting.

C. *Power Sector*: Usually retrofit take place in this sector in the Coal-Fueled plants for example adding to the existing plants combined-cycle technologies.

D. *Industrial and Larger Firms in the Commercial Sector*: Retrofit in this sector is mainly in buildings and equipments such us improvements to offices, warehouses, food services areas, retail space, air compressors, water and hydraulic pumps, boilers, water treatments and production process.

The retrofit is modeled as a process which compares the desired amount of retrofit emissions with the actual state of such emissions. If there is a discrepancy then and adjustment is done to bring the emissions in line to the desired state. That kind of structure is known as goal seeking which is illustrated in figure 2.

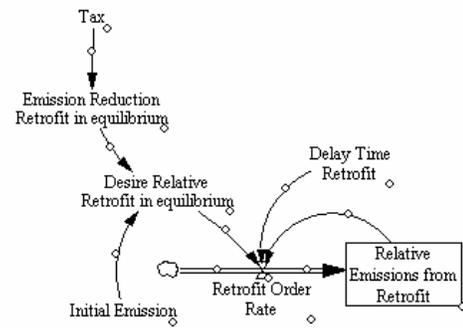


Fig. 2: Retrofit structure

The process of retrofitting the capital does not depend of vintages, therefore the emitters can control de amount of retrofit they would like to implement to achieve certain level of emissions. Retrofit is done based on the existing capital, thus, the desired retrofit emissions is subject to the potential capital available for retrofitting and the capacity of producing the materials and equipment for the retrofitting measures. The goal in this case can be interpreted as a carrying capacity.

The variable “Emission Reduction Retrofit in equilibrium” (ERRetro in (6)), represents the maximum amount of reductions possible, if not replacement is done, subject to a specific tax rate. DRRetro in (8) equals the desire relative retrofit with a certain tax level.

$$(6) \quad ER\text{Retro} = b + \sqrt{\frac{b^2 + 4 * a * tax}{2 * a}}$$

$$(7) \quad DR\text{Retro} = \frac{(InitialEmissions - ER\text{Retro})}{InitialEmissions}$$

The rate at which the retrofit stock “Relative Emissions from Retrofit” (RER) approaches to the “Desired Relative Retrofit” (DRRetro) is called “Retrofit Order Rate” (8) and is the minimum value between cero and the gap between RER and DRRetro. The rate is a minimum in order to control the stock to increase when the tax is decreased. Because once the emitter orders the retrofit and executes the measure responding to a certain level of tax there is no option to disassemble the equipment installed if the tax is reduced.

$$(8) \quad ROR = MIN(0, \frac{(DR\text{Retro} - RER)}{DTR})$$

The “Relative Emissions from Retrofit” will have values between (0, 1) and represents the fraction of the Initial Emissions generated if only retrofit

measures are executed.

3) *Replacement Abatement cost*: A country’s effort in order to reduce its emissions of greenhouse gases will normally decrease the net national income in the country. The reduced national income is called the Abatement Cost [7].

There are a lot of instruments to estimate the abatement cost, however in the last years Marginal Abatement Cost Curves (MACC’s) have become a standard tool to analyze the impacts of the Kyoto Protocol and emissions trading. The marginal abatement cost represents either the marginal lost in profits from avoiding the last unit of emissions or the marginal cost of achieving a certain emission target given some level of output [8].

The cost curve is defined by a the quadratic function (9)

$$(9) \quad T = a * ER^2 + b * ER$$

Where T is the tax in \$/ton of carbon, ER is the Emission Reductions in million metric tons of carbon when the system is in equilibrium. The total cost of abatement is the area under the curve, therefore by integration the total cost is (10).

$$(10) \quad TC = \left(\frac{1}{3} * a * ER^3 \right) + \left(\frac{1}{2} * b * ER^2 \right)$$

4) *Retrofit Abatement cost*: There is no available data for defining an accurate retrofit cost curve. There are a lot of estimations of retrofit programs, but this are done on a project scale (very specific and micro) and using Net Present Value methodology, which is not congruent with the aggregate structure of the model and macroeconomic approach used for the estimation of the replacement cost curve.

Therefore, considering retrofit as an early replacement, an estimation of a retrofit curve was built using the replacement cost curve as a reference. From the data found for retrofit projects in transport and residential we found evidence that the retrofit (not accounting negative cost) is much more expensive that the replacement. Retrofit measures to improve efficiency is likely to incur much greater cost than build in efficiency at the time of construction or to wait and replace the capital stock at the end of its useful life. In [1] the

high cost of the accelerate turnover of the capital is also highlighted.

We estimate a retrofitting curve assuming that retrofit will reduce 1/4 of the replacement reduction with the same tax.

4) *Total Abatement cost: Replacement and Retrofit* Figure 3 shows the structure where replacement and retrofit are matched together in order to account the total emissions reductions.

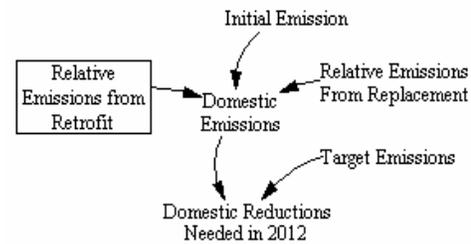


Fig. 3: Retrofit and Replacement Cost Curves

The variable “Domestic Emissions” in fig. (3), is the Initial Emissions multiplied by the Relative Emissions from Replacement and the Relative Emissions from Retrofit. The Target Emissions is a parameter and is 3000 M ton of CO₂ equ. that rested from the Domestic Emissions the Domestic Reductions Needed in 2012 are calculated.

C. Market Structure

In order to reduce emissions and comply with the target, besides the domestic actions like the tax, the countries have the possibility of trade emissions in an International Green house gas market.

The GHG market consists of buyers and sellers, both are emitters who are restricted to keep their emissions within certain limits. Buyers submit bids to purchase reductions. Sellers submit offers to sell reductions. Buyers of emissions reductions are making investments in existing or proposed projects and businesses that are expected to result in emission reductions [9]

The emission quotas are the goods being the object to be trade in the GHG market [7]. A quota system could comprise several types of quotas: one quota for each GHG, where the emissions are measured by tones of the corresponding GHG’s, or one type of quota could cover a basket of all the different GHG’s [7]. The type of quota in the model is related to a basket of GHG’s. The emissions from

the different cases are measured by common measure: CO₂ equivalent and the units are Million tons.

A quota could define the right to a certain amount of emissions in a fixed year or over a certain time period, or a quota could specify repeated emissions over subsequent periods (years). The emission targets specified in the Kyoto Protocol are to be reached over a five year commitment period. That is, the average emission per year during the commitment period can not exceed the emission limitations specified in the protocol [7]. In the experiment the quotas give the right to a certain amount of emissions during the commitment period, which means that they are valid from the moment of the transaction until the end of the period (2012).

The market is modeled as a network game with five players or countries. Each player set their bids and offers every year, by drawing their demand/supply curve. After setting bids and offers, all the individuals demand/supply curves are summed and the equilibrium price is estimated. Once the equilibrium price is found, the quotas are assigned according of the bets and bids done by the countries.

III. EXPERIMENT DESIGN

A. Task

The goal for the participants is to reduce the green house gases initial emissions until reach a target of 30005 M ton of CO₂ equ. during a period of 12 years. The experiment starts in year 2000 with initial emissions of 40006 M ton of CO₂ equ.

The task in treatment 1 is to fix a tax every year. Figure 4 shows the interface for the player in treatment 1. The task in treatment 2 is to fix tax and to trade international emissions reductions every year. Figure 5 shows the simulator interface for treatment 2. The interfaces are divided in tree boxes: *decisions*, *information* and *when game is*

over. In *decisions* subjects introduce the tax or draw the supply demand curve. In *information* updated data about the state of reductions, quota price and transactions is given. In the lower box *when game is over* at the end of the simulation players have information about their total cost and payoff.

Every year the subjects enter their decisions and press the button “Accept Decision” that will appear in the monitor.

Full information of the experiment is given in the instructions, the purpose, goal, task, rules, constrains, payoff, initial conditions, how to play and the marginal abatement cost (annex 1 provides a version of the instructions). The information of the marginal abatement cost is presented in the way that people would likely find in real life, potential reductions and cost in an equilibrium model by the year 2012. During the simulation players were asked to fill a form with the data of the decisions they made every year. Subjects were separated from each other in cubicles order to give privacy.

B. Subjects

The experiment was carried out at the University of Bergen (UiB), Norway, with

bachelor and master students from the economics department. Pilot experiments performed with The World Bank staff and with other students from the UiB showed that the subjects should have certain level of economics background. The complexity of the task and the interpretations of some concepts used for the experiment, marginal abatement cost, interest rate, market price, demand/supply curve and capital stock for instance could create some misunderstanding of the task and the goal if subjects are not familiar with these terms. 30 subjects completed the experiment, 13 female and 17 male, in three different sessions during the same day. Treatment 1 was accomplished by 10 subjects and treatment 2 by 20 subjects divided in four groups. To avoid learning effects, no subjects participated more than once.

C. Treatments

1) *Treatment 1 Tax*: Sterman and Sweeney [10] in a laboratory experiment which involves stock and flow structure of the climate found that people do

⁵ The GHG emission reduction data used for this study are base on the estimations of the marginal abatement cost curve done by Ellerman *et al* (1998) with the EPPA model.

not understand climate dynamics and highlight “the sooner people understand these dynamics the sooner they will call for leaders who reject do-nothing wait and see policies”. Moxnes and Kerem [11] in a similar experiment encountered that people do not have proper mental model of CO₂ accumulation. Meadows and Wiensenmayer [6] also found in experiments with school-age children that the “student’s concepts regarding the scope and nature of the global warming is often incomplete or inconstant with predominant scientific understanding”.

All of the studies mentioned above are very simple tasks and are concern about global warming dynamics. They show that people have problems understanding climate change dynamics (stock and flow structures and delays). To reduce emissions in a country for reaching the Kyoto Protocol is another problem, however, it involves long delays, stock and flow structures and conceptual knowledge of the climate policies. Thus, we have evidence to think about possible misunderstandings of the capital turn over dynamics for reducing emissions by replacement or retrofit (early replacement) and possible pedagogical problems towards climate policies.

We hypothesize that players in Treatment 1 will not fix optimal taxes.

2) *Treatment 2 Tax and Market:* Within the Kyoto Protocol countries besides the domestic actions have the possibility of buying reductions from others countries in the Carbon Market. This Market besides giving more flexibility to reach the target, also add complexity to the task of reducing emissions. Now the subjects besides thinking in the replacement dynamics have to think also in the interactions with the agents of the market and their expectations of prices.

We add complexity to the task of treatment 1, giving the option to buy and sell emission quotas in the market.

In treatment 2, five subjects play at the same time in a network game. Players fix a tax and also they generate the market price by drawing the demand

supply curve themselves every year.

All players are in a symmetric position, meaning that all have the same information. They also have to reduce the same amount of emissions and have the same punishment. All the players have the same increasing abatement cost curve therefore there is no reason to trade and the quota price should reflect the price of avoiding to pay the tax. Trade only takes place because of the different perception and strategies that subjects have from the information they receive and the feedbacks from the simulation.

We hypothesize that players in treatment 2 will have biased expectation in the quota price

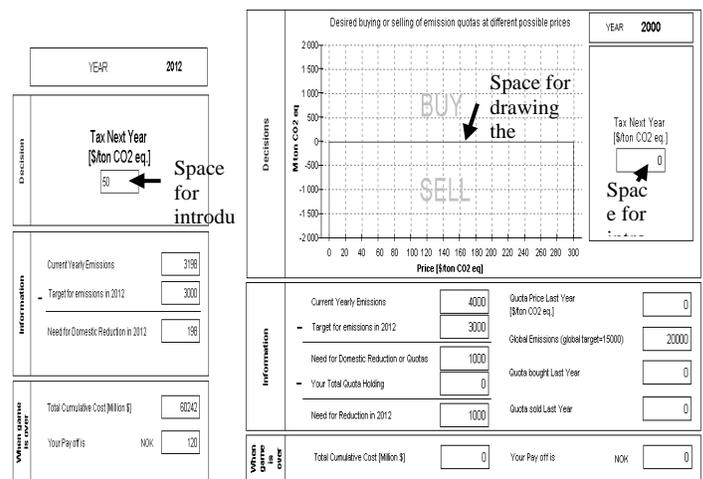


Fig. 4: Treatment 1 Interface

IV. RESULTS

A. Tax

Figure 6 shows the average tax for the subjects in the treatment with no quota market T1 (thin line) compared with the optimal tax (thick line). We see that the average tax is lower the optimal tax in all periods except for the last three periods. The dotted lines show 2,5 and 97,5 percentiles for the average price. The percentiles show that the tax is significantly lower at the 5 percent in the first 6 periods.

Fig. 6 T1 average tax vs. Optimal tax

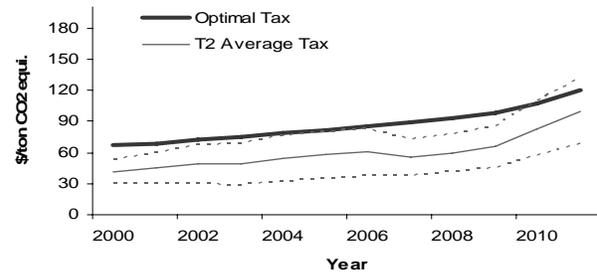
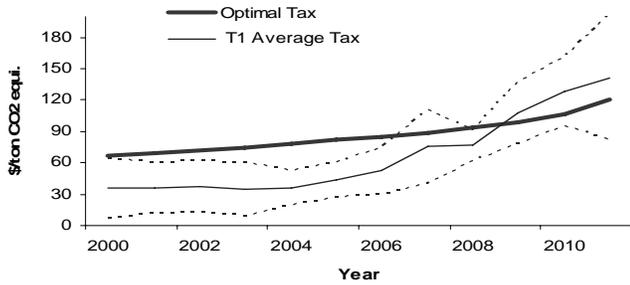


Fig. 7 : T2 average tax vs. Optimal tax

Figure 7 shows the average tax for the subjects in the treatment with quota market T2 (thin line) compared with the optimal tax (thick line). We see that the average tax is lower the optimal tax in all periods. The dotted lines show 2, 5 and 97,5 percentiles for the average price. The percentiles show that the tax is significantly lower at the 5 percent in all the periods.

In both treatments there is a pattern of raising the tax at the end of the period, in T1 is more significant that in T2. In the first six years there is no considerable difference between the average taxes settled in both treatments

B. Quota Prices

In figure 8 we can observe the average quota price over time (thin line). During all the periods transactions took place at prices closer to the yearly discounted punishment (line with triangles). The average quota price is higher than the optimal quota price (thick line) and the optimal tax with a smooth growing tendency over time. The 95% confidence interval (dash lines) for the average quota price is over the optimal except for some periods.

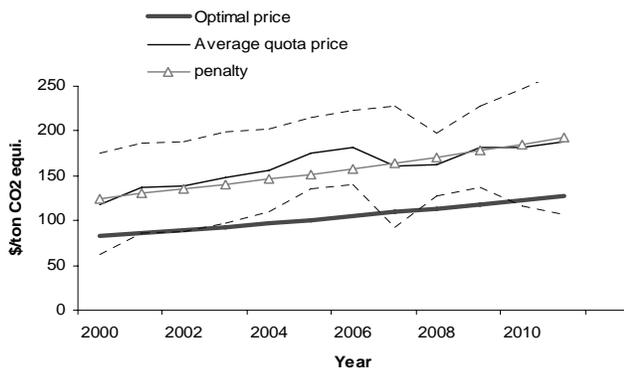


Fig. 8 : Market price vs. Optimal Price and Discounted Punishment.

C. Volume Traded

Figure 9 shows the average volume traded among the groups and the average price every year. There is no clear relation between quantities traded and prices. In the first and the last year were traded the major amount of quotas. In the first half of the period simulated, while the price increases steady until year 2006 the volume traded decreases year by year from 2000 to 2004, increasing again in years 2005-2006. In the second half the volume traded has the same pattern as the first (down and up), however, the price change the growing tendency, decreasing in years 2007-2008 and raising in the last three years.

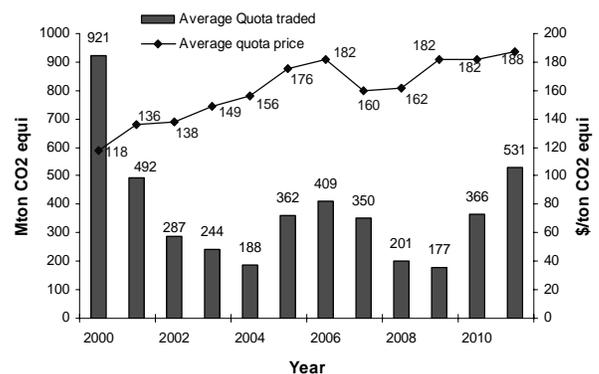


Fig. 9: T2 Volume of Quotas Traded vs. Market Price

D. OVERALL PERFORMANCE

Table I summarizes to what extent the subjects reached the target. Low P-values in T1 and T2, at a 0.05 level, show that players were significantly far

from the target. The average emission was lower in T1 than T2. 70% of the emissions per player were lower than the tax in T1 and 50% in T2.

Although subjects in T1 have less variability towards the target, in comparison with T2, subjects in T2 were more successful in reaching the target

TABLE I
SUBJECTS PERFORMANCE IN REACHING THE TARGET

Emi ssio n	Target 2012	Average 2012	Lower	Upper	P-value target	% Emission > target
T1	3 000	3 104	2 982	3 315	0,017	30
T2	3 000	3 208	2 720	3 169	0,008	50

The total cost performance for all the subjects over treatments is summarized in Table 2. The average cost for those who reach the target in T1 is closer to the optimal than in T2. The spread in the total cost over subjects is wider in T2 than T1. The p-values, at a 5-percent level, show that in both treatments the average cost was significantly close to the optimal.

The average cost for those who do not reach the target is bigger to the optimal in both treatments. The spread in the total cost over subjects is lightly wider in T2 than T1. The p-values, at a 5-percent

TABLE II
TOTAL COST OVER TREATMENTS

	OPTIMAL COST	SUBJECTS REACHING THE TARGET			SUBJECTS NOT REACHING THE TARGET				
		AVERAGE	LOWER	UPPER	P-VALUE	AVERAGE	LOWER	UPPER	P-VALUE
T1	44.674	58.679	39.784	77.575	0,086	68.973	54.663	83.283	0,006
T2	44.674	107.777	46.305	169.249	0,045	60.509	37.772	83.247	0,150

level, show that in T1 the average cost was not significantly close to the optimal cost contrary to the average total cost in T2

V. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

A. TAX

There are three insights important to discuss regarding the tax

- There is a clear lack of correct mental models showed by the low initial taxes. This could be explained by underestimation of delays. The dislike in taxes is also a possibility that could influence the low taxes.

- Subjects seem to do not act properly on feedback. There is a lack of awareness about the relationship between tax and reductions and inability to find proper action (high taxes) as a response of the low reductions.

- Surprisingly the punishment did not act as a salient anchor for fixing the tax, different of what happen in the quota price.

B. QUOTA PRICE

There are four insights important to discuss regarding the quota price

- The punishment is a salient anchor in the upper limit

- Subjects performed very well in the discounting of the punishment to fix the price in the market.

- In the first years of the simulation the inclusion of the market seems to do not affect the taxes, however at the end the tax in the treatment without market is higher.

- Is interesting to highlight how subjects seem to give two different prices for tow nearly identical products (tax reductions and quota reductions).

ANNEX

Annex I

The Kyoto treaty experiment

The purpose of the Kyoto treaty is to reduce world emissions of greenhouse gases to limit potential future climate change. According to the Kyoto treaty, the countries that have signed the agreement must reach certain targets for their greenhouse gas emissions by the year 2012. The targets can be reached in two ways:

1. Countries can reduce their domestic emissions, or
2. They can buy emission quotas from other countries, which in turn must reduce their domestic emissions below their agreed targets to make up for the quotas they have sold.

In this laboratory experiment the world is split in 5 identical countries (or regions). You will each be playing the leader in one of these countries, making all decisions for the country by yourself. Your goal is to reach the target with the lowest possible cost.

Each year you have two decisions to make: You set a tax rate for emissions of greenhouse gases in your own country and you make bids to buy or to sell emission quotas in a market where all 5 countries interact. From one year to the next, the computer calculates how much the domestic emissions have been reduced due to the tax and the amount of quotas you have bought or sold in the market and at what price.

The experiment starts in year 2000 and the emission goal should be reached by 2012. You cannot reach the target without incurring costs. At the end of the game you will receive a payoff that depends on your total costs. The payoff can vary from NOK 70 for very high total costs to NOK 150 for very low total costs.

Your total costs depend on three factors:

1. Domestic emission reductions cost money for those who have to make the reductions. The tax income for the government is of no concern here; just assume that it is returned to the tax payers as reductions in other taxes. It is assumed that all emission-reduction projects that cost less than the tax rate will be implemented each year. Thus, the higher the tax rate, the larger the costs for domestic emission reductions and of course the larger the emission reductions.

2. If you buy emission quotas in the market you generate a cost. If you sell quotas, you decrease your costs.

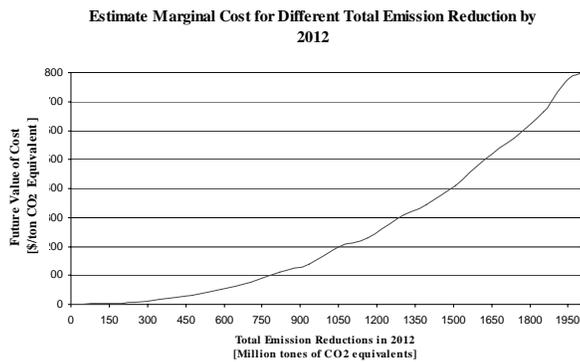
3. If you do not reach the emission target by domestic reductions or quotas in 2012 you will be punished with an extra cost of 200 \$/ton CO₂ equivalent for the excessive emissions. Note here that Greenhouse gases are measured in equivalent units of CO₂ (tons of CO₂ equivalents)

Think about the costs as being paid by loans for which you have to pay a 4 percent interest per year. Thus, your total costs in 2012 will include both the direct costs and the interests you have to pay on the loans. Hence, an early reduction in emissions will be more costly than a later and otherwise similar reduction.

To simplify the experiment we assume that there is no economic growth. Furthermore, all emissions reductions must take place with equipment that exists today, there is no technological improvement over time. Your emissions in year 2000 are 4000 million tons of CO₂ equivalents. Your emission target for year 2012 is 3000 million tons of CO₂ equivalents. Thus, the needed reduction is 1000 million tons of CO₂ equivalents.

The experiment is based on studies that have estimated the lowest possible marginal costs of total domestic emission reductions by 2012. The minimum costs require that an optimal sequence of taxes is used. See future values of the minimum marginal costs in the graph below. For your information, a tax of 130 \$/ton CO₂ equivalent corresponds to approximately a doubling of current

energy prices.



Each year the computer computes the emissions reductions that follow from chosen tax rates. You should assume that the computer program is highly realistic except for the simplifications already mentioned.

How to play

The PC screen is divided in three sections: decisions for the present year, information about the last year, and total costs and payoffs in year 2012. The game progresses in the following sequence: Look at information from last year, make decisions, press the button “Accept Decisions”, the game progresses to the next year, you look at the new information and so on.

DO NOT PRESS “Accept Decisions” BEFORE YOU HAVE CHECKED YOUR DECISIONS - THERE IS NO RETURN ONCE YOU HAVE ADVANCED TO THE NEXT YEAR.

Decisions:

You set the tax rate by entering a number in the Tax box.

You make bids for quotas by clicking on the curve and then dragging it to where you want it. At sufficiently low quota prices (to the left in the diagram) you will probably like to buy quotas - if so, the curve should be in the buy region (higher than zero). At sufficiently high prices you will probably like to sell quotas and the curve should be in the sell region (lower than zero). You have to specify the entire curve, such that the computer

program knows how much you want to buy or sell at all possible quota prices. The curve may be flat or declining, it cannot bend upwards at any point (if you do, you get an error message and have to change it). An upward bending curve is like saying that you want more quotas the more expensive they are - that does not make sense.

When all players have entered their curves (and their taxes and have clicked on “Accept Decisions”), the computer program finds the quota price that equilibrates the market, that is, total sales equal total purchases.

- Information last year
- Current Yearly emissions
- Target for emissions in 2012
- Need for Domestic Reduction or Quotas
- Your total Quota Holding
- Need for domestic Reduction by 2012
- Quota Price last Year
- Global Emissions (Sum of emissions for all five players)
- Quotas Bought Last Year
- Quotas Sold Last year

- Information in year 2012
- Total Cumulative Cost
- Your Payoff

Thank you and Good luck!!

Player No. _____

Date: May 10, Time _____

YEAR	TAX \$/ton CO ₂ equivalent	Quota Bought last year	Quota Sold last year	Space for additional information	
2000		-----	-----		
2001					
2002					
2003					
2004					
2005					
2006					
2007					
2008					
2009					
2010					
2011					
2012	-----				

YOUR PAYOFF IS NOK

Your signature _____

REFERENCES

- [1] F. Lecocq, J. C. Hourcade and M. Doung ,
“*Decision Making Under Uncertainty and Inertia Constrains: Sectoral Implications of the when Flexibility.*” *Energy Economics* 20: 539-55. 1998.
- [2] J. Funke, “*Solving Complex Problems: Exploration and Control of Complex Systems. Complex Problem Solving: Principle and Mechanisms.*” Edited by Sternberg, R and Frensch, P, NJ Lawrence Erlbaum Associates. 1991.
- [3] E. Moxnes, “*Misperceptions of Basic Dynamics The Case of Renewable Resource Management*”. *System Dynamics Review* 20(2): 139-162. 2004.
- [4] E. Moxnes, “*Not Only the Tragedy of the Commons: Misperceptions of Bioeconomics*”. *Management Science* 44(9): 1234-1248. 1998.
- [5] J. D. Sterman, “Misperception of Feedback in Dynamic Decision Making. Organizational Behavior and Human Decision Process” 43(3): 301.335. 1998.
- [6] G. Meadows and R. Weisenmayer, “*Identifying and addressing student's alternative conceptions of the global warming: The need for cognitive conflict*”. *Journal of Science Education and Technology* 8: 235-239. 1999
- [7] B. Holtmark and C. Hagem. 1998. “*Emission Trading under Kyoto Protocol*”. *Cicero Report* 1998:1. Available on: www.cicero.uio.no
- [8] G. Klepper and S. Peterson, “*Marginal Abatement Cost Curves in General Equilibrium: The Influence of World Energy Prices. The Fondazione Eni Enrico Mattei Note di Lavoro Series Index*”. *Nota di lavoro* 136. 2004. Available on: <http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm>
- [9] IETA, 2005. Market Mechanisms. [cited 2005] Available from World Wide Web: (<http://www.ieta.org/ieta/www/pages/index.php?IdSiteTree=26>)
- [10] J. D. Sterman and L. B. Sweeney, “*Cloudy Skies: Assessing Public Understanding of Global Warming. System Dynamics Review*” 18 (2): 207-240. 2000.
- [11] Moxnes, Erling and Kerem, (In press) *Misperceptions of Global Climate Change: Information Policies.*

El uso de Cuentos y Caricaturas para la Transmisión de Ideas Dinámico Sistémicas en el Ámbito Infantil y Empresarial

Prieto Samuel, Paba Zuany
prietosamuel@hotmail.com, zpaba@hotmail.com
Universidad del Magdalena

Abstract— This report pretend to jut out jut out the work that are doing several North American authors (principally Linda Booth Sweeney and David Hutchens) for treat of give Dynamic Systemic to the Childs' and the managerial public with the use of stories and caricature. Add It's going to show the use's possibility of this strategy in the Latino-American Context, whit two (2) stories choose of region's authors.

Concepts and ideas' transmittion since a lot time are doing easier with the use of metaphor, parable or stories, this due that whit this tools, the persons aren't felling attacking, It's bigger remembering and the vocabulary that is used it isn't large that to do its understanding faster and its reach to a big public.

Childs' literature have stories that can being used to transmit Dynamics systemic way to the children how to explain "Linda Booth Sweeney" in her book "When a Butterfly Sneezes" where she show twelve (12) North American stories that are using how tool to transmit Dynamics Systemic ideas in a simple way.

Other important authors that used stories supporting by caricatures to transmit Dynamic systemic ideas and the organizational learning in the managerial ambit, He is David Hutchens who has published recently "Learning Fables Series" five illustrated book and other tools using like transparency, pocked book that are using as help to assessor and lecturer.

It's evident that when we doing used of this strategies we are going break communicative barrier that it can succeed to use traditional exposition in that is board directly topics and problem, in this managerial ambit. In addition it's evident that the effectiveness of the narrative and the caricature for motivate the learning in the child's public..

Finally the investigation's group try motivated the use of stories and caricature tools to transmit Dynamic System ideas

in Spanish, we consider that this tools going to be useful to arrive to a big public and more understanding. It's showed two stories of Latino American literature that have Dynamics Systemic concepts and that allow to be apply as in the infantile as managerial area.

Resumen -- Esta ponencia pretende resaltar los trabajos que adelantan diversos autores norteamericanos (principalmente Linda Booth Sweeney y David Hutchens) para tratar de llevar los conceptos dinámico sistémicos al público infantil y empresarial con el uso de cuentos y caricaturas. Además se presentara la posibilidad del uso de esta estrategia en el contexto Latino Americano, por medio de dos (2) cuentos seleccionados de autores de esta región.

La transmisión de conceptos e ideas desde hace mucho tiempo se hace mas fácil con el uso de metáforas, parábolas o cuentos debido a que con estas herramientas, las personas no se sienten atacadas o agredidas, además es de mayor recordación y el vocabulario utilizado no es extenso, lo que hace su comprensión mas rápida y su alcance a un público mayor.

La literatura infantil contiene cuentos o relatos que pueden ser usados para transmitir ideas dinámico sistémicas a los niños como lo expone "Linda Booth Sweeney" en su libro "When a Butterfly Sneezes", donde muestra doce (12) cuentos norteamericanos que sirven como herramienta para la transmisión de ideas dinámico sistémicos de una forma sencilla.

Otro destacado autor que utiliza relatos apoyados en caricaturas para transmitir ideas dinámico sistémicos y de aprendizaje organizacional en el ámbito empresarial es David Hutchens el cual ha lanzado recientemente "Learning Fables Series" cinco libros ilustrados y otra serie de apoyos como diapositivas, libros de bolsillo como apoyo a asesores y conferencistas .

Es evidente que haciendo uso de esta estrategia lograremos romper las barreras comunicativas que pueden sucederse al utilizar exposiciones tradicionales en que se abordan las temáticas o problemáticas directamente, en el ámbito empresarial. De igual manera se evidencia la efectividad de la narrativa y la caricatura para motivar el aprendizaje en el público infantil

Finalmente el grupo de investigación intenta motivar el uso de las herramientas del cuento y la caricatura para la transmisión de conceptos dinámico sistémicos en español, que consideramos serán de utilidad para llegar a un público mayor y de mayor recordación. Se muestran dos cuentos de la literatura latinoamericana que contienen conceptos dinámico – sistémicos y que permiten ser aplicados tanto en el área infantil como empresarial.

Índice de Términos— Aprendizaje Organizacional, Cuento y Caricatura, Dinámica de Sistemas, Enseñanza de Sistemas

I. INTRODUCCIÓN

Los docentes encargados de la enseñanza de conceptos Dinámico-Sistémicos en el contexto Latino Americano no ha hecho uso de las ventajas y posibilidades de la narrativa y de la imagen, como los realizados para el público Norte Americano por autores como Linda Booth Sweeney y David Hutchens, para el ámbito infantil y empresarial.

Es evidente que haciendo uso de la narrativa y de la imagen (Dibujos o caricaturas) lograremos romper las barreras comunicativas que pueden sucederse al utilizar exposiciones tradicionales en que se abordan las temáticas o problemáticas directamente, en el ámbito empresarial. De igual manera se evidencia la efectividad de la narrativa y la caricatura para motivar el aprendizaje en el público infantil.

Esta comprobado que los procesos cognitivos en el ser humano se desarrollan mas fácilmente a través de la narración y las imágenes, dicho aspecto no se pierde con el pasar de los años y mas aun si la predisposición a cambiar actitudes y comportamientos son mas difíciles si no se sigue

una estrategia adecuada como la anteriormente anotada.

Para justificar un poco mas lo expresado anteriormente nos basaremos en algunas definiciones de la narración como la que indica que esta es imitación o representación de acciones, entrelazamiento de hechos y, por ello, el relato está implicado en nuestra manera de vivir el mundo y contiene nuestro conocimiento práctico. Además Se considera la narración como un importante instrumento de conocimiento humano, que se compara con el pensamiento científico en el cual los relatos son modelos para describir el mundo.

Mediante la estrategia de la narrativa y caricatura será más fácil que al público infantil le preparemos para visionar el mundo de manera dinámico sistémica y al adulto para ser capaz de observar situaciones empresariales desde estas mismas ideas, es decir que estamos preparando los futuros profesionales que podrán entender mucho mas fácilmente situaciones empresariales que desde otras perspectivas no tienen explicación.

Debemos tener en cuenta, que no solo implementaremos el uso de la narrativa como recurso para elaborar nuevas estrategias para procesos de aprendizaje sobre las ideas sistémicas, sino que acudiremos a otro elemento del lenguaje que con suficientes argumentos convence acerca de su efectividad en estos procesos, nos referimos a la magia y poder que tiene la IMAGEN, el lenguaje visual.

Un siglo de éxito del cine muestra que la imagen puede ser utilizada como expresión y como estímulo del pensamiento, como expresión y como estímulo de la reflexión y de la racionalidad.

Muchos especialistas sobre el tema, y aun el común de la gente piensan que, sin el apoyo de imágenes, se torna difícil activar el pensamiento abstracto sin la fase previa del pensamiento visual.

Revisemos la aplicabilidad del uso de la narración y de la imagen por parte de algunos autores Norte Americanos que utilizan esta estrategia para desarrollar ambientes de aprendizaje de las ideas Dinámico-Sistémicas tanto para el ámbito infantil como empresarial.

Según Linda Booth Sweeney interesada en la enseñanza de ideas Sistémicas mediante el uso de historia o cuentos, existen algunos indicadores para determinar que una historia es dinámico – sistémica tales como :

- A. Si en la historia existe algo que esta fuera de control.
- B. El “efecto yo-yo” es decir hay una situación que se ha presentado anteriormente y vuelve a presentarse.
- C. Hay consecuencias no esperadas, anti-intuitivas e imprevistas
- D. Hay algún tipo de problema crónico
- E. Hay una acción agresiva o reiterativa en la historia

Bajo estos criterios Linda Booth Sweeney ha encontrado que diversos autores norteamericanos de literatura infantil han realizado sus relatos o libros basados en conceptos dinámico sistémicos entre los cuales se destaca autores como Laura Numeroff, con su libro "if you give a mouse" (si le das una galletita a un ratón), Dr Seuss (Theodor Seuss Geisel) con sus libros "The sneetches and other stories", "The Butter Battle Book", "A River Rand Wild", "The Lorax", Mitsumasa Anno Philome con su libro "Anno's Magic Seeds", Paula Underwood con su libro "¿ Who Speaks for Wolf ?" (¿Quién habla por lobo ?) que permiten que niños y docentes exploren los conceptos dinámico sistémicos de una forma sencilla.

El uso de la caricatura y del humor para transmisión de conceptos ha sido usado por la mercadotecnia y publicidad de donde proviene David Hutchens que ha utilizado esta herramienta en la transmisión de conceptos de aprendizaje organizacional y dinámico sistémicos como lo expone en su obra "Learning Fables Series", cinco libros ilustrados.

La transmisión por medio de caricatura con ilustraciones de alto impacto permite un grado de recordación mayor entre la audiencia en cualquier nivel de la empresa. Además que el uso de animales y metáforas permite que los conceptos emitidos no causen un malestar en la organización que a veces pueden considerar que se esta tratando de decirles sus fallas.

Tanto las fábulas o cuentos para niños como la caricatura para el ámbito empresarial guardan la misma semejanza tal vez porque en el fondo todos somos niños y disfrutamos con estas historias

II. CUENTOS INFANTILES

A. *El cuento “if you give a mouse” (si le das una galletita a un ratón) de laura numeroff[15]*

Este es uno de los cuentos que describe Linda Booth Sweeney como útiles para describir fenómenos circulares propios de lo dinámico Sistémico. El cuento describe como un ratón pide una galletita y esto desencadena otra serie de hechos tales como solicitar un vaso de leche, pedir un sorbete y servilleta y luego algo para limpiarse los bigotes por que se han ensuciado etc, llegando ha ocurrir un sin número de eventos (17 escenas) para al final llegar a la situación inicial. Esto podría describirse como un sencillo diagrama causal como se muestra:

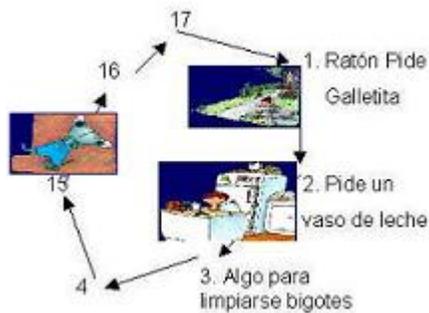


Fig. 1. Diagrama Causal. Si le das una galletita a un ratón

B. El cuento “the lorax” del dr. Seuss (theodor seuss geisel) [16]

Este cuento explica el conocido modelo dinámico – sistémico del límite del crecimiento en donde se explica como la explotación indiscriminada de la naturaleza puede llegar a terminar con esta y con todo lo que dependen de ella. La historia incluye la lucha entre un hombre de negocios “el once-ler” y “el lorax” un hombre defensor de las plantas y animales. En la historia el hombre de negocios no tiene una concepción del efecto a largo plazo de la explotación de los recursos naturales y los efectos nocivos que puede tener para todos e inclusive para él, a pesar de que el “lorax” un hombre que percibe los efectos al largo plazo de acciones del presente, trata de hacer todo lo posible para evitar la situación.

III. CARICATURAS

Algunos autores como David Hutchens estan usando la caricatura y el humor para la transmisión de conceptos de aprendizaje organizacional basado en ideas dinámico sistémicas. Como indica Hutchens el emplear fábulas, metáforas y humor permite que la personas:

- 1) No asuman posiciones defensivas
- 2) Permite que las personas usen los ejemplos en diversas contextos o situaciones empresariales
- 3) Permite enriquecer la discusión

- 4) Mas que nombrar cosas independientes . LA HISTORIA O RELATO PERMITE MOSTRAR LA INTERRELACIÓN EN DIVERSAS SITUACIONES Y SITUACIONES COMPLEJAS
- 5) Aprovecha las diversas formas de aprendizaje tales como visual, reflexivo, pragmático
- 6) Permite el relax y disfrute del proceso de aprendizaje

El uso de caricatura e historias infantiles permite que los conceptos sean fácilmente entendibles y accesibles a un público mayor

IV. CUENTOS LATINOAMERICANOS

Algunos cuentos de autores Latino Americanos pueden también ser usados para transmitir ideas dinámico sistémicas como los que mostramos a continuación y que podrían usarse para la explicación de circularidad y la consecuencias inesperadas de ciertos eventos producidos.

A. La herencia [11] - Mónica volpini

Un día mi padre me llevó hasta la cima de un monte muy alto, y desde allí fue señalando los campos sembrados, la casa y el valle:
- Algún día...Todo esto será tuyo.
Volvimos en silencio. Me rebelé en contra de tan generosa entrega porque sabía lo que debería ocurrir. Bajando la cabeza, le rogué a Dios que me ayudara a entender. Y los años pasaron... Antes de ayer murió. Sin prisa y sin calma, como había pasado toda su vida de trabajo y esfuerzos. Entonces levanté a mi hijo de la cuna y corrí hasta el mismo lugar...
- Esta es tu herencia, hijo mío.

B. Fragmento de cuento ecológico [12] - Saúl schkolnik

- ¡Qué maravilla soy y qué importante! –dijo la flor-. ¿Saben que el agua de la laguna, la Tierra, el Sol, el aire, todos, todos trabajan para que yo exista? -¡Claro que eres importante! – Dijo la mariposa que revoloteaba y con su larga trompa comenzó a beber el néctar de la flor-. Las flores están hechas para que nosotras podamos comer y volar y ser hermosas.

La mariposa se fue volando, iba tan distraída que no se dio cuenta

que la libélula la observaba...

Aunque esta es una selección de dos (2) cuentos Latino Americanos sería interesante la creación de cuentos con el propósito de enseñar conceptos dinámico sistémicos y por supuesto la ilustración de ellos mediante el lenguaje visual y posiblemente la caricatura.

V. CONCLUSIONES

Las historias para niños siempre han cautivado nuestra atención por su poder de comunicar conceptos muchas veces difíciles de entender. En esta ponencia se destacan dos autores norte americanos, que utilizan la narrativa para la enseñanza de conceptos Dinámico Sistémicos. Por un lado, Linda Booth Sweeney, lo utiliza en el ámbito infantil para enseñar a niños las ideas de sistemas. De otra parte, David Hutchens lo hace para la enseñanza de los mismos conceptos en el ámbito empresarial.

Estos autores han utilizado esta estrategia con cuentos infantiles populares norte americanos. Se considera viable el uso de la misma en el contexto Latino Americano teniendo en cuenta la riqueza de la narrativa en esta región. Como muestra se han seleccionado dos (2) cuentos Latino Americanos que puedan ser usados para enseñar ideas Dinámico Sistémicas de una forma sencilla y agradable tanto al público infantil como empresarial.

La temática que se desarrolla en esta ponencia hace parte de un trabajo de investigación que

adelanta el grupo GIAO y que se encuentra en su fase inicial, que pretende hacer una selección de cuentos Latino Americanos que permitan ser usados como herramienta educativa y empresarial.

REFERENCIAS

- [1] J. Aracil, .”*Introducción a la dinámica de sistemas*”. Madrid, Ed. Alianza. 1997
- [2] L. Bertalanffy, “*Teoría General de Sistemas*”, Fondo de Cultura Económica. 2000.
- [3] J. Bruner “*Desarrollo Cognitivo y Educación*”. Ediciones Morata. 1996
- [4] J. Fernes, “*Educación en una cultura del espectáculo*”, Paidós, Barcelona, 2000.
- [5] I. Gomez de Liño, “*Itinerario del extásis o las imágenes de un saber universal*”. Biblioteca Azul. 1989.
- [6] B. Johansen “.*Introducción a la Teoría General de Sistemas*”. Edit. Limusa. 1993.
- [7] P. Senge, ” *Escuelas que aprenden*”. Editorial Norma. 2002.
- [8] P. Senge, “*La Quinta Disciplina*”. Editorial Granica. Barcelona. 1999.
- [9] L. J. Numeroff, (2001) “*If you give a mouse a cookie*”. HarperCollins Publisher
- [10] http://www.escriitores.cl/microcuentos/textos/la_herencia.htm
Página de escritores chilenos aficionados
- [11] <http://www.lecturaviva.cl/autores/schkolnik.html>
Página acerca del escritor chileno Saúl Schkolnik
- [12] www.davidhutchens.com
Portal de David Hutchens donde tiene descripción de su experiencia profesional y de su actividad como escritor
- [13] www.clexchange.org
Portal de aplicación de la Dinámica de Sistemas a la escuela y colegio, en ella se encuentran artículos de Linda Booth Sweeney
- [14] <http://cte.seebc.gob.mx/cuentos/libroratongalleta.htm>
En este sitio se encuentra el cuento “Si le das una galletita a un ratón” de Laura Numeroff
- [15] <http://serenity.magickgarden.com/greenhouse/stories/orax.html>
En este sitio se encuentra el cuento “The Lorax” del Dr. Seuss

Autores

SAMUEL PRIETO MEJÍA, 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 GIAO reconocido por COLCIENCIAS en el área de Aprendizaje Organizacional.

ZUANY LUZ PABA ARGOTE, Comunicadora Social Énfasis en Comunicación Organizacional, Pontificia Universidad Javeriana, Especialista en Edumática, Universidad Autónoma de Colombia, Docente Catedrática en el área de Competencias Comunicativas y Teoría General de Sistemas, de la Universidad del Magdalena, Integrante del grupo GIAO reconocido por COLCIENCIAS en el área de Aprendizaje Organizacional.

Estimasoft: Modelo de simulación para estimación de esfuerzo, recurso humano y duración en proyectos de desarrollo software¹

González Palacio Liliana, Pérez Ana Lucía
lilianagonpa@yahoo.com, alperezp@epm.net.co
Universidad de Antioquia

V.I. INTRODUCCIÓN

Resumen— En este artículo se presenta un modelo de simulación para estimación en proyectos de desarrollo software, que se apoya en una técnica tradicional para hacer cálculos iniciales del tamaño del producto software a construir, y posteriormente, determina el recurso humano, el esfuerzo y la duración asociados, tomando como punto de partida el modelo propuesto en [Abdel 1991].

La herramienta desarrollada permite a los directores de proyectos simular el comportamiento de un proyecto software bajo diferentes escenarios, disminuyendo la probabilidad de hacer estimaciones incorrectas que generan costos adicionales no previstos, retrasos, falta de calidad en los productos entregados, y desperdicio de recursos que podrían ser empleados en otros proyectos.

Palabras clave— Estimación en proyectos de desarrollo software, dinámica de sistemas, gestión de proyectos.

Abstract - In this paper a model of simulation for estimation in projects of software development appears later, that leans in a traditional technique to make calculations initial as large as the software product construct, and, determines the human resource, the associated effort and the duration, taking like departure point the model proposed in [Abdel 1991].

The developed tool allows the directors of projects to simulate the behavior of a software project under different scenes, diminishing the probability of making estimations incorrect that they generate non predicted costs additional, delays, lack of quality in given products, and waste of resources that could be used in other projects.

Key words— Estimation in projects of software development, systems dynamics, projects management

La planificación es la primera etapa en el desarrollo de un proyecto software y, debe estar bien definida e implementada, para que en las demás etapas se obtengan los resultados esperados, y para garantizar la calidad del producto a entregar [Grompone 1996].

El principal objetivo de la planificación es estimar, y para ello, se deben contestar interrogantes como[Ramos 2001]: ¿Cuánto cuesta el producto software a desarrollar?, ¿Cuál será su duración?, ¿Cuántas personas se requieren?

¿El producto software es bastante parecido a uno ya existente?, y en ese caso, ¿Tiene el producto ya existente una reusabilidad y portabilidad suficientes para que valga la pena tomarlo como base para la construcción del nuevo producto?, ¿Tiene el producto a desarrollar una relación costo-beneficio adecuada?

Estos interrogantes se resuelven si se conoce el tamaño del producto a desarrollar, para luego calcular el esfuerzo requerido, y, posteriormente, determinar el recurso humano y la duración indicados para cubrir este esfuerzo.

Para determinar el valor de estas variables, los directores de proyectos informáticos necesitan una herramienta que permita particularizar las características complejas y dinámicas del desarrollo software. Además, necesitan identificar debilidades en la etapa de planificación, y adoptar los correctivos adecuados para garantizar un producto software de mejor calidad.

¹ Este artículo es derivado del trabajo de tesis: “Estimasoft, modelo de simulación para estimar esfuerzo, recurso humano y duración en proyectos de desarrollo software”, presentado como requisito para obtener el título de ingeniera de sistemas. Agradecimientos a la profesora Ana Lucía Pérez, asesora del proyecto de grado.

En este artículo se presenta un modelo de simulación que permite calcular el recurso humano, el esfuerzo y la duración de un proyecto de desarrollo software, apoyando la labor de los directores de proyectos.

La estructura del artículo se indica a continuación: en la sección 2 se presenta la definición del problema.; en la sección 3, se propone un método de solución al problema ya planteado; en la sección 4, se muestran resultados obtenidos con el modelo de simulación; y, por último, en la sección 5 se presentan algunas conclusiones determinadas luego de la elaboración y análisis de resultados del modelo.

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la gestión de un proyecto de desarrollo software, la planificación juega un papel muy importante, porque es en esta etapa donde se deben hacer estimaciones de esfuerzo, recurso humano y duración del proyecto a realizar, todas en función de obtener un producto de calidad.

Para el cálculo de las variables antes mencionadas, los directores de proyectos tienen dos opciones: Basarse en experiencias de proyectos similares ya terminados o usar modelos de estimación tradicionales, tales como el modelo COCOMO, el modelo de puntos de función (PF), el modelo de puntos de casos de uso (UCP), entre otros. La primera opción aplica si el proyecto que se está estimando es muy similar a alguno de los proyectos realizados en el pasado. La segunda opción entrega resultados útiles si se combinan modelos de estimación tradicionales, para disminuir las desventajas que tiene cada uno usándolo de manera individual.

Con cualquiera de las dos opciones mencionadas, se pueden presentar estimaciones incorrectas que generan costos adicionales no previstos, retrasos, falta de calidad en los productos entregados, y desperdicio de recursos que podrían ser empleados en otros proyectos.

Los problemas descritos anteriormente surgen porque los proyectos de desarrollo software tienen

un alto grado de incertidumbre, su comportamiento puede variar con el tiempo, y además, las decisiones tomadas en un instante determinado por quienes se encuentran en el nivel estratégico de la organización, repercuten sobre la evolución del proyecto de diversas maneras, directas o indirectas [Toro 2002]. Estas características complejas y dinámicas resultan imposibles de representar mediante modelos de estimación tradicionales.

Como se puede observar, los directores de proyectos de desarrollo software necesitan hacer una estimación correcta del esfuerzo, el recurso humano y la duración requeridos para un proyecto software determinado.

III. MÉTODO DE SOLUCIÓN

Para solucionar el problema planteado, se propone la integración de un método tradicional y un método dinámico de estimación mediante un modelo de simulación. El diagrama causal del modelo se muestra en la figura 1 de la siguiente página.

En el diagrama causal, el proceso comienza calculando el tamaño del proyecto de desarrollo software en puntos de casos de uso, para luego calcular el tamaño en esfuerzo (horas-hombre). Posteriormente, se define cuanto recurso humano es necesario y cual será la duración del proyecto. De acuerdo al recurso humano necesario, la organización decidirá cuantos técnicos debe vincular al proyecto, con lo cual vendrá un proceso de contratación. El recurso humano que ingrese debe pasar por un periodo de entrenamiento, que le permitirá más adelante alcanzar la productividad que se requiere, por esto, se consideró la variable entrenamiento. El periodo de entrenamiento disminuye la productividad del equipo de trabajo, porque involucra no sólo al personal nuevo sino al personal antiguo en el proyecto, el cual debe disminuir las actividades de desarrollo para dedicarse a las de entrenamiento.

La productividad se ve afectada además por la ausencia de recurso humano en el equipo, la capacitación y la experiencia del recurso humano involucrado en el proyecto. De acuerdo a la

desarrollados por [Abdel 1991], [Ramos 2001] y [Alvarez 2002], haciendo uso de la información disponible, ya que no fue posible acceder a fuentes de información como empresas de desarrollo software o expertos en el área. Estas fórmulas

fueron adaptadas a la técnica tradicional de estimación denominada puntos de casos de uso. A continuación se presentan algunos resultados obtenidos con el modelo de simulación y un proyecto de 23 puntos de casos de uso, con una dedicación tiempo completo del personal.

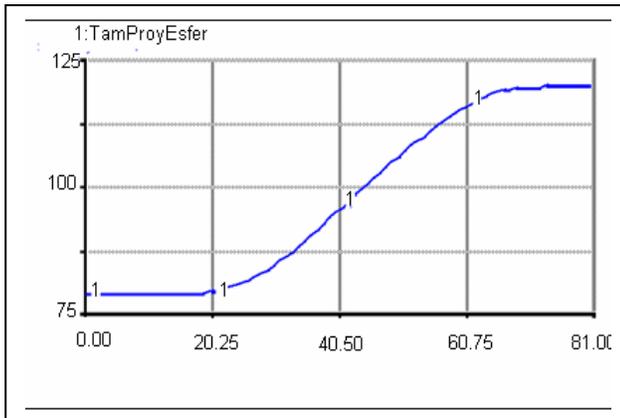


Fig. 2. Comportamiento del esfuerzo durante todo el proyecto

El cálculo inicial de esfuerzo fue de 78.5 días-hombre, correspondiente a las fases de desarrollo (incluye diseño y codificación) y de pruebas. La figura 2 muestra que este cálculo permanece estable hasta el día 33, momento en el cual presenta un aumento a razón de una unidad de esfuerzo por día, hasta la fecha de finalización del proyecto. Se puede observar que el aumento se presenta hacia la mitad del tiempo de duración del proyecto, porque hasta ese momento, la fase que se está ejecutando es la de desarrollo (diseño y codificación), fases que ya habían sido incluidas en la estimación inicial del esfuerzo, pero, a partir del día 33 se produce un incremento sustentado por los siguientes factores: la aparición de nuevas tareas no descubiertas, el comienzo de la fase de pruebas en la cual se corrigen los errores detectados, y, la inclusión en el cálculo del esfuerzo, de las actividades de calidad (que no fueron incluidas en la estimación inicial). La figura 3 permite observar que, aunque hubo un incremento del esfuerzo planeado durante el proyecto, el nivel de recurso humano fue el adecuado, y siempre, el esfuerzo necesario para el proyecto, incluyendo los posibles déficit, fue

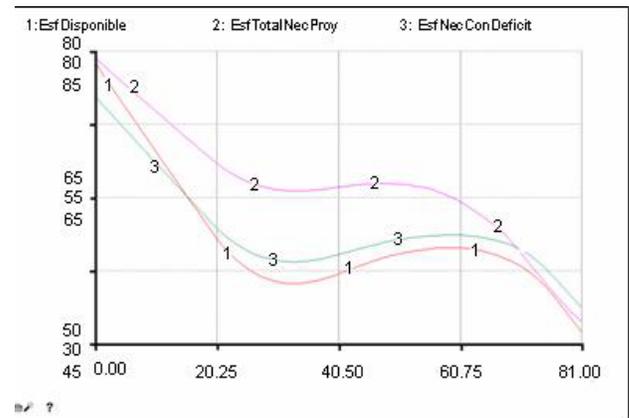


Fig. 3. Esfuerzo disponible vs. esfuerzo necesario

cubierto sin problema; esto se puede observar, comparando en cualquier punto de la gráfica el valor del esfuerzo disponible y el valor del esfuerzo necesario (con o sin déficit), para constatar que el esfuerzo disponible siempre fue mayor o igual que el esfuerzo necesario. Este resultado permite pronosticar que en el proyecto no se va a presentar una situación de presión del plazo positiva, es decir, no habrá condición de sobreesfuerzo.

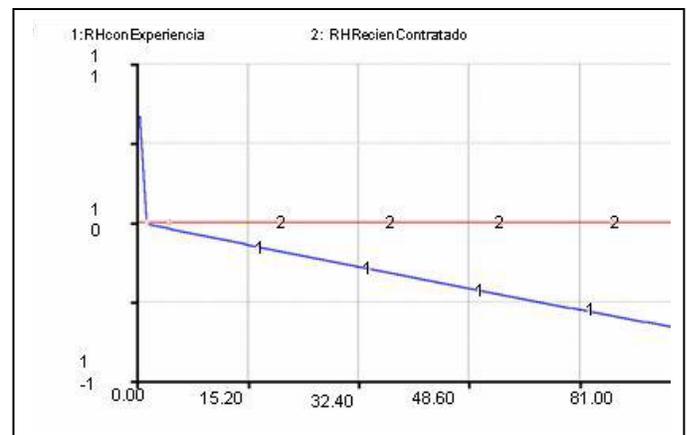


Fig. 4. Recurso humano con experiencia vs. recurso humano nuevo

En la fig. 4 es posible observar que este proyecto se sostiene durante todo su desarrollo con un solo técnico. Aunque el esfuerzo durante el desarrollo aumenta, esta situación puede ser sostenida por un solo técnico, sin que sea necesario contratar personal nuevo. Es importante recordar que hay etapas de un proyecto en donde no es aconsejable contratar nuevo personal, porque se le puede agregar dificultad y pérdida de tiempo al normal desarrollo del proyecto. Este es uno de los casos en que no es recomendable la contratación (por el tiempo en que se presenta un aumento del esfuerzo), porque serviría como factor distractor del único técnico encargado, y, el tiempo que dicho técnico emplearía en el entrenamiento del nuevo técnico, podría ser aprovechado para ejecutar actividades propias del desarrollo.

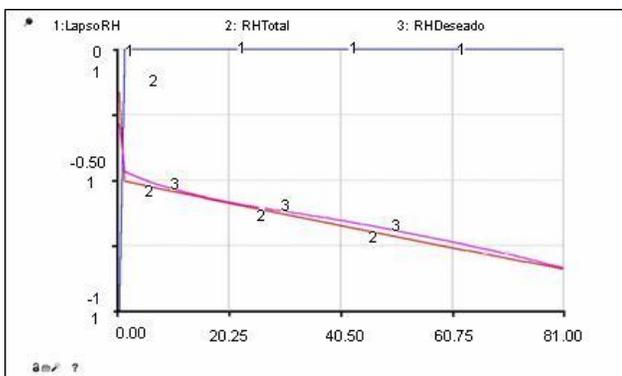


Figura 5. Recurso humano disponible vs. Recurso humano deseado

En la fig. 5 Se observa que durante el proyecto no se presenta lapso de recurso humano, es decir, el recurso humano disponible es el preciso para completar el proyecto, y no difiere del recurso humano deseado, acorde con la figura 4, en donde se mostró que no fue necesario contratar nuevo recurso humano en ningún momento, porque un técnico podía desarrollar todas las actividades sin caer en situación de sobreesfuerzo.

V. CONCLUSIONES

El modelo de simulación presentado en este artículo apoyará la incursión de la Dinámica de Sistemas en la gestión y administración de proyectos de

desarrollo software, convirtiéndose en una herramienta que permite experimentar en diferentes escenarios el comportamiento de un proyecto para evaluar los efectos de decisiones relacionadas con la administración del recurso humano, el tiempo y la calidad.

El modelo reproduce el comportamiento básico de los proyectos de desarrollo software y es útil en los siguientes casos:

1. Si se tiene un diagrama de casos de uso, obtenido a partir del análisis del sistema, sin que sea necesario un análisis funcional ya elaborado, como en el caso de la técnica de puntos función.
2. Si la empresa de desarrollo no dispone de una base histórica de proyectos o ésta no permite definir en las primeras etapas del desarrollo, un número importante de atributos asociados al proyecto y al proceso.
3. Si se requiere una herramienta que permita al personal nuevo aprender sobre gestión de proyectos.

REFERENCIAS

- A. Hamid and S. Madnick. "System Dynamics Modeling and Simulation of Software Development". 1991.
- Y. Alvarez and G. Pérez, "Modelo dinámico de un proyecto de I+D." Universidad de Oviedo-España. 2002.
- J. Grompone, "Gestión de Proyectos de Software". Primera Edición. Editorial La Flor del Itapebí. Montevideo, Uruguay. 1996.
- M. Peralta, "Estimación del esfuerzo basada en casos de uso". Reportes Técnicos en Ingeniería de Software Vol. 6 N ° 1 (2004), pág. 1-16. Buenos Aires- Argentina.
- I. Ramos, "Modelo Dinámico Reducido". Facultad de Informática y Estadística. Universidad de Sevilla, España. 2001
- D. King. "Project management made simple", Prentice Hall, 1992.
- C. Jones, "Activity-based software costing," Computer, May 1996, p. 103-104.
- F. O'Connell. "How to run successful projects". Prentice Hall, 1994.

J. O. Montesa, "*Curso de gestión de proyectos*" Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Universitaria de Informática. 2000.

J. Puig T., "*Proyectos informáticos, planificación, desarrollo y control*". 1994

A. Rodriguez and B. Bowers, "System dynamics in project management: a comparative analysis with traditional methods." System Dynamics Review. Vol. 12, 2. 1996.

M. Toro Bonilla, M. Ruiz Carreira and I. Ramos Román , "*Marco dinámico integrado para la mejora de los procesos software*". 2002.

UCP 2001. Test Effort Estimation Using Use Case Points, Suresh Nageswaran, Quality Week 2001, San Francisco, California, USA, June 2001.

Ambiente de trabajo colaborativo para el modelado y simulación con Dinámica de Sistemas utilizando Evolución 3.5 - 2005

Prado, John., Quintero, Norman (QEPD), Pérez, Ana y Andrade, Hugo.
prado80@yahoo.com, alperezp@epm.net.co, handrade_sosa@hotmail.com
 Universidad de Antioquia – Universidad Industrial de Santander

Resumen— En la actualidad se cuenta con aportes en el tema de trabajo en equipo con Dinámica de Sistemas propuestos por “Richardson y Andersen” (Richardson y Andersen, 1995), quienes sugieren que para la construcción de modelos se deben utilizar 5 roles: el facilitador, modelador/reflector, instructor de procesos, registrador y el proveedor inteligente.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos al desarrollar y validar EVOLUCIÓN WEB, como una herramienta de trabajo colaborativo que permite además del modelamiento con dinámica de sistemas, el intercambio de mensajes mediante el uso de herramientas de redes e Internet, como son chat, foros, conferencias, pizarras multiusuario, correo electrónico, control de versiones y calendario; utilizados para establecer enlaces coherentes entre las actividades del equipo modelador y la ejecución de tareas de forma compartida (Ortega, 1998).

Índice de Términos—Dinámica de Sistemas, CSCW, LMS, Evolución 3.5

I. INTRODUCCIÓN

Evolución se ha venido desarrollando desde hace 8 años en la Universidad Industrial de Santander por el grupo de investigación SIMON y hasta el momento no cuenta con un soporte para el trabajo en equipo, ni mucho menos para el trabajo colaborativo.

Al no contar Evolución con un mecanismo para el trabajo colaborativo en Internet, se presentan problemas como perder la última versión de un modelo, la pérdida de tiempo por la imposibilidad para el trabajo simultáneo, consolidación errónea de cambios hechos por diversos miembros del grupo,

dificultad para el trabajo compartiendo tareas, entre otros.

Además en los cursos virtuales de dinámica de sistemas, los contenidos se dan por separado del laboratorio; debido a que no se cuenta con ningún software de modelamiento y simulación que funcione vía Web.

Para el caso particular de Evolución 3.5, se desarrolló una herramienta de trabajo colaborativo que permite a los integrantes de un grupo de estudio o investigación, la interacción de manera remota y en tiempo real; interacción expresada en otras palabras como el soporte para el trabajo colaborativo en Internet.

La dinámica de sistemas es una disciplina de trabajo en grupo (Senge, 1990), por lo tanto se hace necesario que el software que se usa como apoyo, para nuestro caso particular Evolución, se encuentre en un ambiente de trabajo colaborativo que aumente la eficacia en tres niveles: comunicación, coordinación y colaboración. Un ambiente de trabajo colaborativo a nivel de comunicación, facilita el intercambio de mensajes mediante el uso de herramientas de redes e Internet; a nivel de coordinación, define un conjunto de mecanismos utilizados para establecer un enlace coherente entre las actividades de cada miembro del grupo; a nivel de colaboración permite el logro de objetivos a través de la ejecución de tareas de forma compartida (Ortega, 1998).

EVOLUCIÓN WEB, también fue resultado de un esfuerzo mancomunado entre los grupos de

investigación SICOSIS de la Universidad de Antioquia y SIMON de la Universidad Industrial de Santander; grupos interesados en difundir a Evolución como una herramienta de uso libre para el aprendizaje de la dinámica de sistemas y utilizada internacionalmente.

II. AMBIENTES DE TRABAJO COLABORATIVO (CSCW)

El término CSCW (Computer-Supported Collaborative Work), fue introducido en 1984 por Iren Greif del MIT y Paul Cashman del Digital Equipment Corporation, quienes se reunieron para explorar el rol de la tecnología en el ambiente de trabajo (Grudin, 1994), este término hace referencia a gente trabajando en un producto, área de investigación o tópico, con la ayuda de los computadores (Jiménez, 2001) El CSCW está soportado en la tecnología conocida como Groupware. El término Groupware es una contracción de las palabras Group y Software, introducido por Peter y Trudy Johnson-Lenz, quienes lo definen como la suma de unos "Procesos de grupos intencionales y procedimientos para realizar propósitos específicos" más unas "Herramientas de software diseñadas para soportar y facilitar el trabajo en grupo". Es cualquier sistema computarizado que soporte grupos de personas comprometidas con una misma meta y que suministra una interfaz para un ambiente compartido (Ellis, 1991).

Los sistemas Groupware se diferencian de los sistemas de información tradicionales, debido a que permite a los usuarios interactuar directamente entre ellos utilizando el computador como herramienta, ya sea preparando un documento, consultando una base de datos, o incluso jugando; en vez de ser sistemas en los que el usuario interactúa independientemente con el computador (Ellis, 1991).

La tecnología Groupware puede ser concebida para ayudar a un grupo de personas localizadas en un mismo sitio, o a un grupo distribuido en diferentes sitios. Además pueden ser concebidos para mantener una comunicación y colaboración en

forma sincrónica o asincrónica (Jiménez, 2001). En este proyecto la tecnología Groupware se implementa mediante un sistema de Gestión de Aprendizaje.

III. SISTEMA DE GESTIÓN DE APRENDIZAJE (LMS)

Un LMS, Learning Management System o Sistema de Gestión del Aprendizaje, en español, es un programa informático implementado sobre servidores de Internet/Intranet que se ocupa de las siguientes actividades básicas:

- 1) Gestión de los usuarios de los diferentes cursos virtuales. Los usuarios serán, normalmente, de tres tipos de perfiles. El perfil o rol administrador, el perfil alumno y el perfil profesor o tutor de un curso.
- 2) Gestión administrativa de los cursos. En este punto cabe destacar el uso de las evaluaciones efectuadas a los alumnos para determinar el grado de asimilación de los contenidos de los cursos.
- 3) Gestión de las herramientas de comunicación: como son los foros, correo electrónico, videoconferencia, chat. (Barchino, Gutiérrez, Otón, 2004).

De un estudio exhaustivo de estas herramientas y luego calificar en el desempeño de cada una de ellas, La herramienta Moodle obtuvo un puntaje superior con respecto a las otras herramientas evaluadas ya que nos permite comunicación, coordinación y colaboración de una manera más eficiente que las demás.

IV. ROLES EN EL PROCESO DE MODELAMIENTO COLABORATIVO

Estos roles fueron propuestos por Richardson y Andersen (Richardson y Andersen, 1995) sobre la construcción de modelos en equipo, se han tenido en cuenta para la construcción de modelos colaborativamente:

A. *El Facilitador*: Sus funciones son ser el facilitador del grupo y descubridor del conocimiento. Esta persona hace un seguimiento constante a todo el proceso del grupo, los roles de cada miembro del grupo y la tarea de programar el conocimiento y la comprensión de éste dentro del grupo. Este rol es el más visible de todos, constantemente trabaja con el grupo y por otro lado se esfuerza por construir bien el modelo.

B. *Modelador/Reflector*: No se enfoca en todo el proceso sino más bien en el modelo que esta siendo formulado por el facilitador y el grupo. El modelador/Reflector ayuda tanto al modelador como al grupo. Esta persona piensa y esboza su propio modelo, refleja la información al grupo, reestructura formulas, expone las necesidades del modelo y en general sirve para cristalizar los aspectos importantes de la estructura y de su comportamiento. El facilitador y el modelador deben de tener experiencia como modeladores con dinámica de sistemas.

C. *Instructor de procesos*: Es una persona que no se enfoca del todo en el contenido sino más bien en la dinámica de los individuos y de los subgrupos dentro del grupo. Ha sido útil pero también engorroso para el instructor de procesos que no es un modelador de dinámica de sistemas, Tal como le ocurre a una persona que no conoce un tema y se encuentra en un grupo de expertos sobre ese tema que se expresan en su propia jerga de palabras e símbolos extraños. El instructor de procesos debe servir al facilitador, su esfuerzo ha sido invisible al cliente.

D. *Registrador*: Se esfuerza por escribir y bosquejar las partes importantes del procedimiento del grupo. Junto con las notas del modelador/Reflector y las transparencias y notas del facilitador; el texto y los esquemas hechos por el registrador deben permitir la reconstrucción de las ideas del grupo. Debe tener mucha experiencia como modelador para

saber que registrar y que ignorar.

E. *Proveedor Inteligente*: Un persona dentro o por lo menos relacionada con el cliente que provee las responsabilidades internas del proyecto, inicialmente ayuda con el marco del problema, identifica los participantes apropiados, trabaja con el equipo de soporte de modelamiento para estructurar las sesiones y los participantes miembros del grupo. Es un defensor en dos direcciones: dentro de la organización del cliente trata el proceso de modelamiento y con el equipo de soporte de modelamiento trata el problema del cliente. El lugar que ocupe dentro de la organización del cliente puede tener una gran influencia en el proceso y un gran impacto en los resultados.

El objetivo fue crear un ambiente de trabajo colaborativo utilizando Moodle para evolución 3.5. y una pizarra multiusuario que se pueda enlazar con Moodle para el trabajo colaborativo con Evolución 3.5. Esta pizarra multiusuario permite crear y editar diagramas de forrester y realizar las simulaciones que se deseen, adicionalmente se pueden cargar modelos y manejar versiones de modelos.

V. RESULTADOS

Una vez terminado el proyecto de investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

1) *Modelamiento Colaborativo*: En EVOLUCIÓN WEB, el proceso de modelado es un proceso iterativo mediante el cual se combinan los distintos elementos conceptuales y operativos que suministra la dinámica de sistemas, para alcanzar como resultado final un modelo válido. Para garantizar el éxito del proceso de modelamiento colaborativo, se incorporan los cinco pasos utilizados por (Richardson y Andersen, 1995).

Los resultados son útiles para la educación a distancia dinámica de sistemas y para realizar proyectos de cuando los integrantes del grupo de trabajo o los clientes se encuentran en sitios diferentes o lugares remotos.

2) *Plan general y fases del modelamiento colaborativo:* Al implementar la tecnología colaborativa Groupware, se genera un impacto en el modo de creación de los modelos con dinámica de sistemas (Coleman, 1998) El impacto en el modelamiento colaborativo repercute sobre la forma como los diferentes roles propuestos trabajan. En otras palabras, groupware hace referencia a personas antes que a las herramientas que las personas usan. Por eso se justifica que al implementar la tecnología groupware en Evolución 3.5 se plantee un nuevo proceso de modelamiento colaborativo basado en el de John D. Sterman (Sterman, 2000).

3) *A continuación se describen todas las herramientas Groupware que se sugieren para el modelamiento colaborativo:*

A. *Foro de Trabajo:* Su tarea permite definir y concretar los objetivos del proyecto y para definir la situación problemática con el fin de conocerla a profundidad, se debe de crear un foro para formular las siguientes preguntas: ¿Cuál es el verdadero propósito del modelo? ¿Cuál es el problema que preocupa al Cliente? Los encargados de realizar estos foros son: facilitador, instructor de procesos y el proveedor inteligente.

B. *Publicación Web:* Publicar la misión y visión de la compañía o universidad. Además los objetivos, justificación y el alcance. El encargado de las publicaciones Web es el registrador

C. *Chat:* Después del foro de la situación problemática es necesario concretar lo dicho del foro, programando un chat. También se deben programar varias secciones de chat para discutir sobre los diferentes tipos de diagramas que propone Sterman (Sterman, 2000) para el proceso de modelamiento. Diagramas del límite, subsistema, causal y el diagrama de mapas de niveles y flujos. Los encargados de realizar estas secciones de chat son: Facilitador, registrador, instructor de procesos, proveedor inteligente y

el modelador.

D. *Página Wiki:* Wiki es la abreviatura de wikiwiki, la palabra hawaiana para "rápido". Un wiki es un sitio web. La característica distintiva de una página wiki es que es editable. No se trata solo de una página que podemos leer, guardar, imprimir etc., sino de un espacio donde cada usuario puede introducir cambios, crear texto y nuevas páginas desde su propio navegador. La idea es que con las páginas Wiki se cree un documento final de la situación problemática y de la discusión de los diagramas. El encargado de hacer la página Wiki es el registrador, dejando la brecha abierta para que cualquier miembro del grupo opine.

E. *Trabajo con pizarra multiusuario de evolución:* Crear mapas de niveles y flujos en la pizarra multiusuario de Evolución y pruebas y validación del modelo. Los 5 roles participan activamente en la pizarra multiusuario.

F. *Subir documentos al servidor:* El registrador debe hacer un documento que contenga el análisis de las corridas del modelo

VI. EJEMPLO

Para comprobar la eficacia y beneficios del ambiente de trabajo colaborativo con Evolución 3.5, se programó un plan de pruebas. Se tuvo en cuenta como probadores a estudiantes de la Universidad Nacional Sede Medellín y estudiantes de la Universidad de Antioquia. Esta prueba se realizó utilizando el chat del ambiente de trabajo colaborativo y todos los probadores estuvieron conectados todo el tiempo al chat.

En la prueba se utilizó un modelo de propagación de una enfermedad.

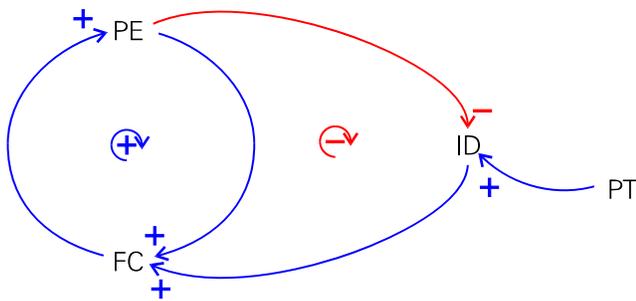


Fig. 1: Diagrama Causal de Propagación de Una Enfermedad

- PE: Población Enferma
- FC: Flujo de Contagio
- ID: Población Sana
- PCD: Factor de Contactos, infectivos/día
- CPI: Contactos que producen infección por día.
- PT: Población Total

Este modelo se llevo a diagramas de forrester utilizando la pizarra multiusuario, con tres roles diferentes, ubicados cada uno en sitios remotos. Cada uno de los roles participó en el proceso pidiendo la palabra (Pedir la palabra significa que el sistema le da control absoluto sobre la aplicación, mientras que los otros solo pueden ver los cambios que se hacen en el modelo) para modelar la parte que le tocaba realizar del modelo.

Como resultado final se comprobó que la plataforma funcionaba correctamente y en cuanto al modelamiento se observo que es de gran ayuda porque todos pueden estar trabajando al mismo tiempo en un diagrama de forrester sin necesidad de estar en el mismo sitio y además se pudo notar que se desarrollaba mayor la creatividad al encontrarse enfrentado a la herramienta por separado.

A continuación se muestra una figura de Evolución Web

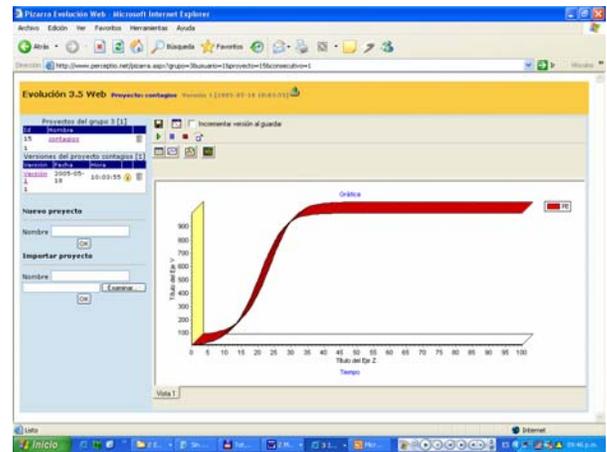


Fig. 2: Resultados de Simulación en Evolución Web

VII. CONCLUSIONES

La experiencia de las pruebas con estudiantes en diferentes sitios remotos, nos muestra la bondad del ambiente de trabajo colaborativo al poder construir colaborativamente el modelo. Así mismo, la posibilidad de construir este tipo de modelos colaborativamente apoyados por un groupware es de vital importancia para apoyar los procesos de aprendizaje del modelamiento con dinámica de sistemas, ya que los fundamentos teóricos están ligados al laboratorio. Es de gran utilidad para un estudiante, aplicar lo aprendido directamente en la misma herramienta; convirtiéndose la herramienta en un acompañante fiel en el proceso de formación de los estudiantes de modelamiento y simulación de dinámica de sistemas.

Los resultados obtenidos en este proyecto muestran como la teoría del trabajo colaborativo puede ser aplicada a una metodología de modelamiento que involucre un equipo de trabajo; en este caso se aplicó a la metodología propuesta por Sterman para el proceso de modelamiento de sistemas complejos con dinámica de sistemas. Otras metodologías que podrían utilizar trabajo colaborativo son: Proceso unificado de desarrollo de software RUP, redes neuronales, teoría de juegos.

El desarrollo de EVOLUCIÓN WEB demuestra que un aplicativo Web se puede lograr a partir de la selección adecuada de componentes de diversa naturaleza. En este caso EVOLUCIÓN WEB es el

resultado de la unión de diversas arquitecturas, entre ellas la arquitectura LAMP: Linux, apache, Mysql y Php sobre la cual esta implementada Moodle; la arquitectura propuesta por el framework de .Net sobre la cual está implementado el control de versiones de EVOLUCIÓN WEB; la arquitectura COM de Microsoft sobre la cual se implementó usando Delphi 6.0 la pizarra multiusuario. EVOLUCIÓN WEB también fue resultado del uso de la tecnología ActiveX y de varios lenguajes de programación como: ASP .Net, Php y Delphi.

trabaja como monitor académico de Investigación en la Universidad Nacional y docente en la Universidad de Antioquia.

Norman Quintero F (QEPD), Ingeniero de Sistemas.

Esta primera versión de EVOLUCIÓN WEB deja abiertas las puertas para que en un trabajo futuro se implementen nuevas funcionalidades tales como: análisis de sensibilidad, construcción de diagramas de influencias, simulación de escenarios y presentación de resultados con animadores.

REFERENCIAS

- [1] R. Barchino , J. M. Gutiérrez , S. Otón, Panorámica de las Herramientas de Apoyo a la Teleformación. Universidad de Alcalá de Henares. 2004.
- [2] D. Coleman, Groupware - The Changing Environment. Chapter 1
- [3] C. A. Ellis, Gibbs, S. J. Rein, G. L. "Groupware Some Issues and Experiences". Communications of the ACM, Vol. 34 No. 1, 1991.
- [4] J. Grudin, Computer-Supported Co-operative Work: History and Focus. Computer, Vol. 27, No. 5, May 1994.
- [5] J. A. Jiménez Builes, Un Modelo de Integración de Sistemas Tutoriales Inteligentes y Ambientes Colaborativos de Aprendizaje bajo el esquema de Universidad Virtual. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Maestría. Diciembre 2001.
- [6] M. Ortega and J. Bravo, "Groupware and Computer-Supported Collaborative Learning", 1998.
- [7] System Dynamics Review 11,2 (summer 1995), Teamwork in Group Model Building
- [8] J. D. Sterman, Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World. 2000.
- [9] P. Senge, La Quinta Disciplina. 1990.

Autores

Ana Lucia Pérez Patiño. ESP. y M. Sc. en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Profesora del departamento de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Antioquia.

John Jairo Prado, Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Antioquia, Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional Sede – Medellín, Actualmente

El Modelado con Dinámica de Sistemas, en su Integración con Otras Herramientas Matemáticas

Andrade, Hugo Hernando; Rey, Oscar Eduardo; Rivera, César Augusto; Sarmiento, Freddy.
handrade@uis.edu.co
Universidad Industrial de Santander

Resumen—A continuación se presenta un breve recorrido, que muestra los intentos del grupo SIMON de investigación para ahondar en el tema de la relación de la dinámica de sistemas y otras herramientas matemáticas. Los primeros estudios se dan en el campo de la lógica borrosa, los cuales se abordaron a través de proyectos de pre-grado cimentando las bases para posteriores estudios.

Ahora se pretende utilizar la experiencia propia y la ajena para extender el estudio de integración a otras herramientas matemáticas. El documento finaliza con una serie de interrogantes que se espera ser abordados en los nuevos estudios.

Índice de Términos: Dinámica de Sistemas, Herramientas Matemáticas, Integración de Herramientas, Modelado.

I. INTRODUCCION

Estos planteamientos han surgidos en el marco general de la pregunta por, ¿cómo hacer el proceso de modelado y simulación lo más cercano posible al lenguaje natural? En la búsqueda por aportar a responder este interrogante, se asumió la investigación sobre la integración entre Dinámica de Sistemas (DS) y otras herramientas matemáticas para la representación del conocimiento. Para abordar esta investigación, en el grupo SIMON se han realizado diferentes experiencias, en el marco de un proyecto que hasta el presente se soporta en tres proyectos de pre-grado y uno de maestría, aportando en la conceptualización y desarrollo de software.

II. ANTECEDENTES

¿Cómo hacer el proceso de modelado y simulación lo más cercano posible al lenguaje natural? Esta pregunta de investigación ha orientado una serie de desarrollos al interior del grupo SIMON y representa parte del horizonte del grupo de investigación. La amplitud de este interrogante hace necesario plantear cuestionamientos que, contenidos dentro de la pregunta inicial, permitan un acercamiento por medio de propuestas concretas. El primero de estos cuestionamientos es ¿cómo acercar los modelos de D.S al lenguaje natural, de manera que sean más comprensibles para quienes interactúan con éstos? Una de las formas de dar respuesta a esta pregunta es mediante la integración entre D.S y otras herramientas matemáticas para la representación del conocimiento, la cual se ve identificada como una de las más recientes líneas de investigación del grupo. Dentro de ésta, se ha planteado la posibilidad de emplear diversos útiles matemáticos para representar fragmentos de conocimiento de manera que los involucrados con el modelo sean capaces de proyectar de una manera más natural sus modelos mentales sobre la situación o fenómeno de interés. A su vez, este avance a generado el segundo cuestionamiento ¿de qué manera se ve afectado el proceso de modelado al integrar la D.S con otras herramientas matemáticas? A partir de estos interrogantes se han desarrollado algunos proyectos y se encuentran en progreso un trabajo de maestría y uno más de pre-grado, que dan marco de referencia a un macro-proyecto que pretende abarcar satisfactoriamente el interrogante inicial, al mismo tiempo, que dan continuidad a los aportes realizados hasta el momento.

La idea de emplear varios útiles matemáticos para mejorar la representación de algunos elementos de fenómenos en modelos de D.S, se puede identificar en trabajos previos dentro del ámbito académico, algunos de estos no se inician como trabajos dentro del área de la DS, pero eventualmente la involucran de manera significativa. La mayoría de dichas investigaciones, se centran en resolver un problema y emplean todas las herramientas a su disposición para tal fin, lo que influye, al igual que su origen, en la no documentación concerniente a la metodología empleada. Las referencias encontradas presentan de manera tácita la integración entre las diferentes herramientas matemáticas empleadas para la representación del fenómeno ya que su propósito es dar respuesta a las situaciones problema que les conciernen, no estudiar el proceso de modelado mismo. Algunas de estos trabajos se comentan a continuación:

1) “Qualitative Knowledge Acquisition Using Fuzzy Logic and System Dynamics” Bourguet, ITESM [3]. Esta investigación constituye un empeño por integrar algunos de los beneficios que la lógica fuzzy ha traído al área de sistemas de control, para representar conocimiento cualitativo de operadores humanos, al espacio de la D.S, para representar políticas de toma de decisión. Se pretende encontrar un método para representar el conocimiento cualitativo asociado a la dinámica de los sistemas complejos.

2) “Policy optimization in Dynamic Models with Genetic Algorithms” [6]. Los modelos dinámicos son a menudo construidos para evaluar la influencia de políticas en un sistema complejo. Los resultados pueden ayudar a la organización a tomar decisiones apropiadas. En el modelo estas decisiones son representadas por un conjunto de parámetros, referidos como “parámetros de políticas”. Con la ayuda de una función objetivo, es posible determinar si el valor seleccionado del parámetro de política influye en los resultados del modelo favorable o desfavorablemente. Encontrar las políticas que optimice (maximice o minimice) una función objetivo dada, intentando manualmente valores de diferentes parámetros, puede tener buenos resultados con modelos pequeños y sólo unos pocos valores de parámetros. Sin embargo,

cuando el número de parámetros que pueden ser modificados simultáneamente aumenta, o cuando se trabaja con complejidades, modelos no lineales, nunca se podría descubrir cual valor se debería seleccionar como el óptimo global alcanzado, Se necesita un buen algoritmo que los encuentre, así se decidió utilizar algoritmos genéticos para optimizar los modelos.

3) “Integrating System Dynamics and Agent-Based Modeling” [13]. En este trabajo se muestra un acercamiento para integrar D.S y técnicas de modelado basada en agentes; comienza con un repaso de los principios fundamentales de las metodologías de modelado y desarrolla un modelo de simulación de la cadena de suministro basado en agentes. El modelo consiste de dos niveles de agregación; en el macro nivel la metodología de modelado basada en agentes es utilizada, en el micro, es utilizada la D.S para modelar la estructura cognitiva interna del agente.

4) “Competencias Laborales: Una Mirada Desde la Dinámica de Sistemas al Caso Colombiano Educación-Trabajo [10]”. Hace una adaptación de la teoría de la Presión Lateral, al caso de la oferta demanda de recurso humano competente dentro del panorama nacional colombiano. Este trabajo estudia la oferta y demanda de recurso humano capacitado en Colombia desde el punto de vista de la educación formal; crea un modelo que se implementa en una herramienta de D.S, reforzado por un módulo de Lógica Difusa (LD).

5) “Modelo De Caracterización De La Dinámica De Potencialidades Del Suelo, Integrando Automatas Celulares Y Dinámica De Sistemas”[5]. Este trabajo plantea el desarrollo de un modelo a partir de autómatas celulares, el cual permite representar la evolución de los flujos de suelo mostrando cómo son alteradas sus potencialidades. Para determinar la caracterización de la dinámica de potencialidades del suelo.

6) “Modelo de expansión del consumo de gas natural por red integrando dinámica de sistemas y simulación basada en agentes [9]”. Desarrolla un modelo de D.S que caracteriza los diferentes consumidores de gas con simulación basada en

agentes, con el propósito de apoyar políticas para la expansión del consumo de gas natural por red a nivel residencial.

A principios del año 2001, un grupo de estudiantes de la UIS trataron de dar solución a una serie de preguntas de investigación concernientes con la estructura de los sistemas para soportar la toma de decisiones y la aplicación de los mismos en fenómenos reales, apoyados en los recursos brindados por el grupo SIMON, obtuvieron resultados satisfactorios, al realizar un primer acercamiento de la D.S con algunos elementos de tecnologías emergentes mediante el proyecto titulado “Modelo Conceptual Generalizado para Soportar la Toma de Decisiones” [8] que incluyó en un modelo de D.S con elementos (multiplicadores, no linealidades y variables exógenas) cuya definición se basó en otras herramientas matemáticas, en concreto, LD y redes neuronales. Esta solución se obtuvo apoyando el modelado con el uso de sistemas de inferencia difusa y sistemas adaptativos de inferencia neuro-difusa (FIS y ANFIS respectivamente por sus siglas en inglés), construidos en el software Matlab. Además, esta investigación formuló un conjunto inicial de lineamientos metodológicos para ayudar al modelado de situaciones con soporte en elementos de inferencia difusa.

Como continuación a este primer trabajo y buscando dar respuesta a los interrogantes planteados en el mismo, se desarrolló el proyecto “Aplicaciones de un Modelo Conceptual Generalizado para Soportar la Toma de Decisiones” [11]. En este proyecto se realizó una revisión y análisis crítico del trabajo efectuado en el proyecto anterior así como de los resultados de experiencias similares de conjunción ejecutadas en el marco de las labores académicas que se desarrollan en la relación Universidad Industrial de Santander-Universidad del Magdalena [2], se investigó sobre la integración entre D.S y L.D mediante la inclusión de FIS definiendo elementos de los modelos de D.S, operando en tiempo de simulación; inclusión que se desarrolla programando los FIS que se agregan a manera de funciones al software Evolución 3.5 [3], con el apoyo del software Unfuzzy. En este trabajo se identificaron tres posibles perspectivas en la relación de modelado entre D.S. y otros

herramientas matemáticas, Apoyo, Complemento e Integración, de las cuales se desarrollaron y aplicaron dos (Modelo Apoyado y Modelo Integrado [1], además, se avanzó en la determinación de los tipos de situaciones susceptibles a ser tratadas con éste enfoque; se formuló una propuesta metodológica concreta para modelar situaciones con cada una de las perspectivas de relación desarrolladas y se planteó una serie de requisitos software a ser tenidos en cuenta para el desarrollo de un módulo que permitiera la creación e inclusión de los FIS como elementos de los modelos de D.S para su operación en tiempo de ejecución, dentro de la herramienta de modelado y simulación Evolución 3.5, sin recurrir a software externo ni labores de programación.

Un nuevo proyecto titulado “Componente de Inferencia Difusa para Evolución 3.5”, que se encuentra en desarrollo, acoge la propuesta metodológica y los requisitos propuestos por el trabajo “Aplicaciones de un Modelo Conceptual Generalizado para Soportar la Toma de Decisiones”, para el diseño e implementación de un módulo de software para Evolución 3.5 que soporte el uso de L.D en modelos de D.S mediante la inclusión de sistemas de inferencia difusa y su evaluación en tiempo de simulación. Este proyecto dará soporte computacional a los avances conseguidos y proporcionará continuidad a los esfuerzos para ofrecer soporte a los desarrollos teóricos de la investigación, además pondrá al alcance de modeladores con D.S. la definición de elementos del modelo en términos de FIS.

Como resultado de las experiencias señaladas se ha empezado a construir un lenguaje de interpretación y estudio de la integración en el que se ha profundizado sobre ésta al hablar de *relaciones* de conjunción entre la D.S y otras herramientas matemáticas para el modelado y la simulación. Se han identificado tres tipos de relación: Relación de Apoyo, Relación de Complemento y Relación de Integración, relaciones que se describen en términos generales en el apartado IV.

Con los proyectos anteriormente descritos se ha conseguido establecer relaciones entre la D.S y la L.D, dar soporte metodológico al modelado bajo esta relación y, en un futuro cercano, soportar dicha teoría con una herramienta computacional, todo esto

para mejorar la representación del conocimiento. También se alcanzó un grado de desarrollo tal que permitió reformular el acercamiento que se observó, lo que a su vez generó un lenguaje propio para la correcta definición de las aproximaciones entre la D.S y otras herramientas matemáticas. La integración ya no sólo se considera entre la D.S y la L.D, por esto se ha iniciado la investigación titulada “Relación de la Dinámica de Sistemas y Otras Herramientas Matemáticas para el Modelado y la Simulación (OHMMS). – Hacia una Plataforma de Modelado” con la que se pretende ampliar el marco conceptual de la relación entre D.S y L.D y extenderlo a relaciones de la D.S. con otras herramientas matemáticas, en particular, Agentes Inteligentes, Autómatas Celulares, Algoritmos Genéticos, Redes Neuronales. Junto con la propuesta metodológica, este proyecto propone un diseño básico para el desarrollo de un módulo software para Evolución 3.5 que permita el modelado con los diferentes tipos de relación y herramientas. Este estudio se apoya en las experiencias adquiridas en los demás proyectos asociados a ésta línea de investigación y toma aspectos de su metodología para definir la factibilidad de los tipos de relación entre la D.S y las diferentes herramientas matemáticas contempladas y en caso de ser posible más de un tipo de relación, determinar cuál es más recomendable según la situación a modelar. Esta investigación plantea, a la par con su desarrollo, el inicio de la construcción de un lenguaje que permita interpretar las experiencias existentes y generar nuevos lineamientos metodológicos para el modelado, así como una base para futuras investigaciones en esta línea.

Cabe aclarar que ahora se utiliza el término relación que es más general que el de integración, por tal motivo se debe reformular la terminología utilizada en los estudios anteriores; ahora lo que se conocía como integración de tipo fuerte, será denominada relación de integración y la integración débil, pasa a llamarse relación de apoyo; como vemos el cambio es sólo en su terminología más no en su definición. Además de la reformulación de los términos, se hace necesario contemplar el otro tipo de relación, la cual se ha denominado relación de complemento, identificada previamente pero la cual no se ha estudiado a profundidad.

Como se indicó de manera previa, se lograron identificar tres tipos de relaciones diferentes, que emplean como criterio de categorización el nivel de integración alcanzado por los elementos que la conforman, cada una de éstas modifica el proceso regular de modelado en alguna medida, logrando afectarlo de manera tan profunda que se llegaría a considerarse un proceso nuevo de modelado.

III. EL PROCESO DE MODELADO

Una de las ventajas que tienen los modeladores experimentados es que la práctica y el conocimiento, derivados del desarrollo de múltiples modelos a lo largo del tiempo, les permiten ajustar el proceso de modelado a sus necesidades y en consecuencia manipular los elementos en diferente grado, concentrándose más en la forma y contenido que en la técnica, esto se traduce en un cierto “estilo” personal que se sustenta en una serie de apreciaciones no del todo conscientes algunas de éstas y por ende de difícil expresión o, en algunos casos, de carácter más intuitivo que racional. Al contrario los “nuevos” modeladores, que poca o ninguna experiencia previa poseen, deben apoyarse en procesos mejor definidos y más rigurosos que les permitan llevar a buen término un modelo satisfactorio y bien documentado.

La importancia de tener claro el proceso de modelado se ve reflejada en la necesidad de reproducir el mismo numerosas veces para crear diferentes modelos en diversos momentos y para múltiples clientes y en algunas oportunidades, con diferentes grupos de trabajo, además si el procedimiento es meticuloso puede facilitar a los demás (cualquier agente externo) comprender el mismo desde sus cimientos, presentando una documentación completa que muestre los factores relevantes, las fuentes de información, diagramas, etc. Como se está dejando documentado el proceso, aumenta su robustez y la confianza del cliente en el mismo.

Si se desea realizar un cambio al proceso de modelado, que no es único y se ve fuertemente influenciado por la intencionalidad de sus constructores y el propósito del estudio dentro del cual se emplea, es fundamental poner de manifiesto la caracterización del mismo adoptada en esta

investigación, puesto que se debe explicar la manera como surgió el cambio, en qué etapa del mismo se debe llevar a cabo y cuál era el propósito de la modificación o su influencia en etapas posteriores, si no se es consciente sobre cual proceso se está trabajando es imposible distinguir este cambio. Sin un proceso es claro y hasta cierto nivel riguroso en su proceder, un cambio no planificado en el mismo puede pasar inadvertido para el modelador, y puede perderse conocimiento valioso para la comunidad en general, si dicho cambio representa un avance en la forma de crear modelos o en la forma de abordar los problemas.

Dada la gran diversidad de documentación encontrada acerca de las formas de crear modelos usando D.S y la importancia de tener claro el proceso, se ha tomado la decisión de seleccionar la propuesta, para propósitos de alcanzar una mejor comprensión de esta investigación, realizada por Alberto Requena y Silvio Martínez en su libro “Dinámica de Sistemas” que consta de 9 fases no secuenciales, muchas de ellas comunes a cualquier clase de modelo matemático, hay que hacer énfasis en que este es sólo uno de los muchos procesos propuestos por los expertos modeladores y que su selección se basó en lo riguroso del mismo, sin embargo, no se puede ser muy estricto en los pormenores de cada una de las fases que lo componen debido a que no se desea generar una lista paso a paso de la “formula” para construir modelos.

IV. RELACIONES

Relación de Apoyo: El término relación de apoyo se asignó a aquellos modelos de D.S que emplean valores que fueron obtenidos de manera externa a través de otras herramientas matemáticas diferentes a las que tradicionalmente han operado en conjunto con la D.S, como la L.D, las redes neuronales, los autómatas celulares y los agentes inteligentes, etc. Y que se emplean para definir de manera completa elementos como variables exógenas, multiplicadores y relaciones no lineales en general.

La relación de apoyo se presenta durante el proceso de modelado, en la fase de definición de ecuaciones, momento en el cual se considera que ha de tratarse con otras herramientas matemáticas para

mejorar su representación; lo que permite asignar el trabajo correspondiente, para su posterior uso en la fase de calibrado, incluyendo los datos obtenidos de manera externa, por medio de la importación manual de los resultados, en los diferentes elementos que lo requieran, por ejemplo, la definición de los valores de la tabla que describen un multiplicador.

En este tipo de relación, el modelador adopta el uso de otras herramientas matemáticas para representar elementos de difícil formalización en el contexto de la D.S convencional. Y la participación que se da al uso de esas otras herramientas es bastante limitado. Esto permite que a menudo el modelador con D.S delegue el trabajo de definir elementos con otras formas de representación, en terceros que posean una mayor experiencia en dichas herramientas y obtengan una aproximación al comportamiento del elemento a modo de función analítica o tabulada.

En este contexto, ya que el uso de otras herramientas matemáticas puede delegarse en expertos, el modelador de D.S no requiere amplio conocimiento de las otras formas de representación que se están empleando para apoyar su modelo, basta con poder manejar los resultados obtenidos con éstas y ser capaz de seleccionar la herramienta adecuada para representar los diferentes elementos.

Así, el proceso de modelado con este tipo de relación se mantiene sin cambios radicales frente al de la D.S tradicional en la mayoría de sus fases, antes y después de recurrirse a otras herramientas matemáticas.

Este tipo de relación se ha ilustrado en varias de los trabajos aquí citados, haciendo uso en particular de la L.D como una herramienta matemática que permite modelar aspectos del proceso de toma de decisiones de grandes grupos de individuos, los cuales comparten una serie de reglas comunes para realizar una selección y tienen objetivos afines. Ejemplos concretos muestran la efectividad de este tipo de relación y su comparación frente al uso de métodos tradicionales de establecer ecuaciones para no-linealidades en los modelos.

Relación de Complemento: La relación de complemento se da cuando se construyen dos modelos para representar una situación; el primero de éstos utilizando la D.S, y el segundo, alguna de las herramientas matemáticas mencionadas previamente, de tal forma que ambos modelos trabajan de manera simultánea compartiendo constantemente información por medio de interfaces o ayudados por un software monitor que les permite sincronizarse adecuadamente. Da la impresión que este tipo de relación es la misma de apoyo debido a que se suministran ciertos datos desde una herramienta externa pero ésta vez ya no en tiempo de modelado sino en tiempo de simulación, pero la gran diferencia radica en la existencia de simbiosis entre dos modelos cuya representación corresponde a dos o más herramientas diferentes de modelado. La simbiosis se presenta en tiempo de simulación, en donde se comparten datos en dos direcciones; tanto la representación con D.S envía datos a su complemento, como su complemento le devuelve datos. La interacción simultánea de las partes determina el comportamiento total del fenómeno. Inicialmente se puede decir que este tipo de relación se ha de utilizar por conveniencia del modelador, pues quizá encuentre favorable, en algún aspecto, representar parte del fenómeno con alguna herramienta distinta a la D.S; pero aún no se puede decir con certeza cuales son las ventajas que esta relación trae al modelado y simulación con D.S.

Una de las dificultades al querer implementar este tipo de relación se encuentra en el aspecto técnico al tratar de crear un mecanismo de sincronía que permita el intercambio de datos, un mecanismo que controle y regule las peticiones de intercambio de datos cuando se está en el proceso de simulación; un estudio un poco más en detalle podrá orientar la conveniencia de utilizar este tipo de relación en el modelado con D.S.

Relación de integración: La relación de integración se presenta cuando se implementa el mecanismo de las otras matemáticas a través de un elemento del modelo, de tal manera que los datos se van generando en cada paso de simulación; es decir, se encierra la funcionalidad de las otras matemáticas en un elemento como por ejemplo una variable

auxiliar o un multiplicador. De esta manera se cuenta con una representación alterna de algunos elementos en procura de un manejo adecuado de cierto tipo de información, estos elementos encarnarán una matemática distinta a las ecuaciones diferenciales, típica de la D.S.

A diferencia de la relación de apoyo, la relación de integración involucra las otras herramientas matemáticas durante todo el proceso de modelado. Empezando con la etapa de “descripción del sistema, selección de elementos y relaciones fundamentales”, en donde el modelador debe considerar la posibilidad de abordar ciertas relaciones y elementos del fenómeno usando otras herramientas matemáticas, hasta la “utilización del modelo” [11] en donde las mismas estructuras empleadas pueden orientar o determinar esta fase. La descripción de magnitudes y la definición de ecuaciones implican una comunicación entre matemáticas de diferente carácter. En la etapa de calibrado, se debe tener en cuenta las exigencias propias de cada uno de los útiles matemáticos empleados, que pueden requerir experimentos especiales alejados del laboratorio y que involucren de manera más directa la forma de pensar de individuos y poblaciones.

Un riesgo que corre el modelador inexperto al recurrir a relaciones de integración es la tendencia a convertir todos los elementos del modelo en elementos de otras matemáticas, desaprovechando de esta manera las capacidades de lo tradicionalmente usado en D.S. Por otra parte se exige un conocimiento mayor de las otras formas de representación que en las relaciones de apoyo, ya que deben tenerse en cuenta las particularidades de estas matemáticas en todas y cada una de las etapas del modelado.

V. ALGUNAS RELACIONES EN ESTUDIO

Las experiencias conocidas de estudio de la conjunción entre D.S y otras herramientas matemáticas enfocadas al análisis del proceso de modelado y la aplicación de éste en el estudio de diferentes fenómenos, se aprecia que generalmente se han limitado a explorar la relación de

complemento. Algunos ejemplos encontrados son los siguientes:

“A software interface between system Dynamics an Agent-Based Simulations – Linking Vensim and RePast”[7]; en este artículo se describe como dos herramientas de modelado y simulación (Vensim para modelar con D.S y RePast para modelar con Agentes) pueden ser acopladas utilizando llamadas a procedimientos. El ejemplo modela el manejo de la cadena de suministro; los agentes, modelados con RePast en un contexto de simulación basado en agentes, son provistos con un modelo en D.S como estructura de decisión.

“Modeling the Forest or Modeling the Trees”[12]; este documento contribuye al estudio cruzado de la D.S y Simulación Basada en Agentes (SBA) el cual contrasta las principales predisposiciones conceptuales fundamentales de las dos metodologías y presenta ideas de cómo las dos metodologías pueden ser integradas.

VI. EXPECTATIVAS DE RELACIÓN

Una de las experiencias estudiadas hace un acercamiento entre estas dos disciplinas donde plantea un tipo diferente de representación del diagrama flujo-nivel basada en redes neuronales, la propuesta advierte un parecido entre el modelado con D.S y las RNA debido a que ambos almacenan conocimiento principalmente en la estructura (o enlaces) de un modelo, en vez de las unidades u otros componentes. Como se aprecia, no es posible clasificar esta experiencia como algún tipo de relación citado anteriormente, aún queda por explorar las ventajas que pueden aportar las RNA al modelado con D.S. Una posible utilización estaría contemplada en algún modelo en el cual sea necesario atenuar algún ruido que impida una buena utilización de la información recibida. Es decir, construir un elemento, con una RNA, que sirva de filtro para ciertas clases de información, lo cual disminuya la posibilidad de recibirla de forma errónea.

Los mayores interrogantes que se han planteado a lo largo de esta investigación y a los cuales se les ha dado respuestas progresivas a medida que se emplean los resultados obtenidos por los diferentes trabajos realizados, se enfocan en tratar de

determinar cuales herramientas matemáticas pueden hacer parte de las diferentes relaciones de modelado conocidas o futuras, cuando es conveniente emplear cada uno de los útiles matemáticos presentes y qué limitaciones existen al aplicar cada una de las relaciones y herramientas.

VII. CONCLUSIONES

El estudio de las relaciones de la D.S y otras herramientas matemáticas abre la posibilidad de experimentar con un determinado fenómeno desde puntos de vista que pueden llegar a ser complementarios, con lo cual se puede abordar la complejidad en mayor medida. Si relacionamos la D.S con la LD se estará abordando situaciones de tipo cualitativo y cuantitativo con un esfuerzo menor. Otros aspectos interesantes cuando se trabaja con modelos tipo predador-presa es la consideración espacial del mismo, si se tiene en cuenta que la variabilidad en la tasa de nacimientos, un resultado potencial de la complejidad espacial, es responsable por la coexistencia en sistemas competitivos [14]; en situaciones como la anterior se hace necesario contemplar el aspecto espacial, este aporte lo puede brindar alguna herramienta como la SBA o quizá los autómatas celulares; se nota entonces lo ventajoso que resulta contemplar y seguir buscando cualquier tipo de relación de la D.S con otras herramientas matemáticas, pues esto permite un mayor abordaje de la complejidad presente en cualquier fenómeno a estudiar.

VIII. REFERENCIAS

- [1] H. Andrade Sosa, C. Rivera Palacios y F. Sarmiento Villamizar. “Memorias Segundo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas: Integración Entre la Dinámica de Sistemas y Otras Matemáticas para la Representación del Conocimiento”, División Editorial y de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 2004.
- [2] Alcázar Lubo, Uribe, Zúñiga; Memorias Segundo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas: Integrando Dinámica de Sistemas y lógica Fuzzy, en tiempo de modelado y de simulación, un ejercicio de clase, División Editorial y de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 2004.
- [3] R. Bourguet, ITESM. Qualitative Knowledge Acquisition Using Fuzzy Logic and System Dynamics. . XX International Conference of the System Dynamics Society, 2002.

- [4] M. Cuellar Yemeris, y E. Lince Mercado, Evolución 3.5: Herramienta Software para el Modelamiento y Simulación en Dinámica de Sistemas, Proyecto de grado, Bucaramanga, 2003.
- [5] I. Dyner Rezonzew, L. A. Quintero Ortiz, Memorias Segundo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas: “Modelo De Caracterización De La Dinámica De Potencialidades Del Suelo, Integrando Autómatas Celulares Y Dinámica De Sistemas”. División Editorial y de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 2004.
- [6] B. Grossmann, Policy Optimization in Dynamic Models with Genetic Algorithms. XX International Conference of the System Dynamics Society, 2002.
- [7] A. Größler, M. Stotz and N. Schieritz, A Software Interface Between System Dynamics and Agent-Based Simulations – Linking Vensim® and RePast®. . XXI International Conference of the System Dynamics Society, 2003.
- [8] G. Luque y V. Pradilla, Proyecto de grado: 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. 2003.
- [9] F. Montoya, Modelo de expansión del consumo de gas natural por red integrando dinámica de sistemas y simulación basada en agentes. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2004.
- [10] A. L. Pérez Patiño, I. Dyner Rezonzew, “Competencias Laborales: Una Mirada Desde la Dinámica de Sistemas al Caso Colombiano Educación-Trabajo. Universidad de San Buenaventura – Sede Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín”. Medellín, Colombia, 2003.
- [11] C. Rivera Palacios, F. Sarmiento Villamizar, Proyecto de grado: Aplicaciones de un “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. 2005.
- [12] N. Schieritz and P. Milling, Modeling the Forest or Modeling the Trees. A comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation. XXI International Conference of the System Dynamics Society, 2003.
- [13] N. Schieritz, “Integrating System Dynamics and Agent-Based Modeling”. XX International Conference of the System Dynamics Society, 2002
- [14] W. Wilson, “Resolving Discrepancies between Deterministic Population Models and Individual-Based Simulation”. The American Naturalist. Vol. 151 No. 2, febrero 1998.
- [15] C. Yao-Tsung. “Yet another Representation for System Dynamics Models, and Its Advantages”. XX International Conference of the System Dynamics Society, 2002.

La validación de los modelos de Dinámica de Sistemas II: La aplicación de los tests que garantizan su validez

Alvarez Castaño, Yolanda.
yalvarez@uniovi.es
Universidad de Oviedo

Resumen— La enorme complejidad de los sistemas socio-económicos actuales obliga a emplear métodos e instrumentos que permitan a los decisores reconocer y valorar sus propias hipótesis sobre el funcionamiento de dichos sistemas y al propio tiempo discernir las líneas de actuación que posibilitan la consecución de los objetivos deseados, de aquellas otras cuyo impacto sobre el comportamiento del sistema es ínfimo o contraproducente.

Los modelos de simulación constituyen objetos transicionales que proporcionan una capacidad de comprensión del modelo mental sostenido por los decisores acerca del funcionamiento del sistema.

Índice de Términos— Dinámica de Sistemas, validación, tests.

I. INTRODUCCIÓN

La Dinámica de Sistemas puede ser definida como la aplicación de los principios y las técnicas de los sistemas de control realimentados, a problemas directivos, organizativos y socioeconómicos. Su propósito es reproducir el sistema real, para profundizar así, en el conocimiento de las fuerzas que generan su comportamiento, de forma que se puedan señalar políticas que contribuyan a mejoras significativas en el mismo.

La Dinámica de Sistemas es pues, un enfoque que usa medios cuantitativos para investigar el comportamiento dinámico de sistemas socio-técnicos, y sus respuestas a determinadas políticas [20]. Su propósito es reproducir el sistema real, de forma que su comportamiento pueda ser anticipado

o cambiado. El comportamiento del modelo debe reproducir así, la toma de decisiones tal y como se efectúa en el sistema real, y no como debería efectuarse si el proceso de toma de decisiones fuese omniscientemente optimizador. Se trata de construir modelos de descripción causal que indiquen como opera realmente el sistema real en algunos aspectos, y que aseguren la efectividad de políticas alternativas, o de las estrategias diseñadas para mejorar el comportamiento de dicho sistema [3].

Los modelos dinámicos constituyen una representación de las relaciones incluidas en el sistema, las cuales pueden ser testadas para validar asunciones sobre el comportamiento del sistema, o sobre el problema que está siendo modelado [22].

La Dinámica de Sistemas es un enfoque capaz de ilustrar las interdependencias existentes en un sistema, permitiendo revelar así, la existencia de una gran variedad de decisiones alternativas, susceptibles de ser aplicadas ante un determinado acontecimiento. Algunas de esas opciones originarán cambios profundos en la estructura y el comportamiento del sistema, mientras que otras tan sólo producirán cambios superficiales.

Además, este enfoque permitirá comprobar como algunas de las decisiones adoptadas acarrearán consecuencias no deseadas en otros ámbitos de la organización -de ahí, la imperiosa necesidad de analizar la empresa en su totalidad-. Pues una de las ventajas de la Dinámica de Sistemas es que, con respecto a la famosa y tradicional hipótesis económica de la condición de “Ceteris Paribus” -

establecida para analizar la conducta de una determinada variable ante una política aplicada-, este planteamiento permite, tanto la realización de dicho análisis, como el estudio del comportamiento global del sistema; dando lugar así, a una mayor semejanza con la realidad.

Asimismo, los distintos procesos de simulación van a permitir demostrar cómo determinadas acciones pueden conllevar consecuencias de signo contradictorio, según que éstas se analicen a corto, medio o largo plazo. Proporcionando, igualmente, la oportunidad de observar cómo toda solución aplicada, va a sufrir una demora temporal, más o menos larga, en su implantación.

Una ventaja adicional de esta metodología es que, en el modelo a elaborar, se pueden introducir variables tanto cuantificables, como no cuantificables; incluyéndose estas últimas por medios de ratios, y de la construcción de tablas-función. Así, es posible incorporar en el modelo, los criterios subjetivos de decisión habitualmente utilizados en la toma real de decisiones; ya que, como se ha constatado a través de múltiples investigaciones, los directivos prefieren la información verbal a la numérica y la conversación a la lectura. Los gestores, además, desconfían bastante de las teorías ajenas, y acumulan frecuentemente información con base anecdótica, la cual utilizarán posteriormente, para tomar decisiones, que procuran que no sean de emergencia, sino más bien de tipo incremental. Así, lenguaje, negociación, e incrementalismo son moneda común en la vida organizativa, siendo imprescindible su participación en el establecimiento de las bases de modelización, del problema definido [5].

II. FASES DE ELABORACIÓN DE UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

La elaboración de un modelo de Dinámica de Sistemas no constituye un proceso lineal -Fig. 1-, y por tanto, no es posible establecer una serie de reglas, cuyo cumplimiento asegure el éxito del proceso [8].

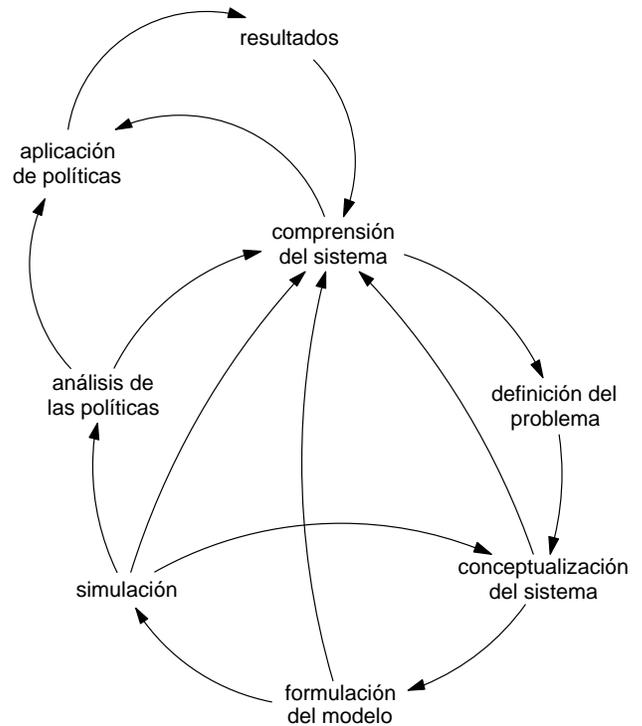


Fig. 1: Proceso iterativo de modelado en dinámica de sistemas [15]

No obstante, si es posible indicar una serie de etapas que configuran el marco estructural de la formulación de un modelo¹ [6]-[15]-[10]:

1. *Detección de un problema, definición del mismo y establecimiento de los objetivos del modelo.*

La detección de un problema es, sin lugar a dudas, el paso inicial en la construcción de un modelo dinámico; pues constituye un requisito imprescindible para poder proceder a su posterior definición.

No obstante, hay que tener en cuenta que en el mundo real, los problemas no se presentan a los gestores como dados [12], por lo que éstos deben construirlos a partir de situaciones que han sido percibidas como problemáticas.

Se requiere, sin embargo, una cantidad considerable de experiencia e información, para aislar un problema de su medio ambiente, con objeto de poder así simularlo. No obstante, el esfuerzo merece la pena; ya que sólo gracias a una correcta determinación de los aspectos implicados,

¹ El modelo validado que resulte de éste proceso, no tiene porqué ser considerado como el único factible para describir la realidad objeto de estudio [1].

será factible la elaboración de un modelo dinámico que refleje el comportamiento real del sistema, y posibilite la simulación de las diversas políticas alternativas que han sido propuestas, con el propósito de solventar las disfunciones observadas. De esta forma, será posible discernir, cuál de ellas es la más idónea de cara a su posterior aplicación en el sistema real.

Para una correcta realización de la presente fase, es crucial un eficaz diagnóstico del problema [2]. La definición de éste debe ser lo más precisa posible, debiendo incluirse en ella los objetivos, las limitaciones y las suposiciones, que se utilizarán en la posterior etapa de construcción del modelo.

En el proceso de identificación y determinación de esos factores, deberían verse involucradas todas las personas que trabajan en el sistema objeto de estudio [2]-[24]; ya que son precisamente ellas, las que constituyen la fuente de información -gracias a sus modelos mentales, los cuales contienen ricas bases de información sobre el sistema-, a partir de la cual, es posible formular la estructura del modelo [17].

El objetivo de todo modelo de Dinámica de Sistemas es contribuir a solucionar el problema detectado [8]. Para conseguir este propósito, es necesario conocer las causas que originan el problema; es decir las políticas y las relaciones que determinan el comportamiento del sistema. Así pues, en esta fase debe incluirse también, la formulación de la hipótesis que anticipa cuáles son las causas más probables del problema percibido.

No hay que olvidar que todo modelo es una representación simplificada de la realidad; por lo que ciertos detalles deben ser excluidos del mismo². Por tanto, la cuestión clave es determinar qué factores se van a incluir en el modelo y cuáles no. Ésta es una cuestión sumamente importante, pues si excluye algún componente relevante, el modelo no resultará válido para alcanzar el conocimiento deseado sobre el sistema que se analiza; mientras que si por el contrario, se incluyen demasiados detalles en el mismo, éste se convertirá en algo tan

complejo como la propia realidad, por lo que no facilita una mayor comprensión sobre ésta.

2. *Diseño de los flujos de realimentación que subyacen en el sistema, y formulación de las políticas de decisión.*

El objetivo de esta fase es poner de manifiesto cómo la situación actual no es sino fruto de las decisiones adoptadas en el pasado; mostrándose asimismo, cómo toda acción llevada a cabo por un área de la empresa va a repercutir sobre el resto de áreas de la misma —aun cuando dicha repercusión sea, en la mayor parte de los casos, de carácter no-lineal y adolezca de un cierto retraso—.

Para ello se diseñará el diagrama causal del problema. Sterman [19] señala una serie de pasos a seguir, a la hora de elaborar un diagrama causal:

- a) Identificar un problema y sus variables clave.
- b) Establecer los vínculos más significativos entre las variables, indicando cómo la modificación de cualquiera de ellas produce cambios en el resto.
- c) Identificar los ciclos de realimentación reforzadores y compensadores, que se encuentran implícitos en el diagrama.

De esta forma, será posible descubrir los puntos de apalancamiento del sistema, los cuales son definidos por Senge [18] «como el lugar dónde actos y modificaciones en la estructura, pueden conducir a mejoras significativas y duraderas».

Una vez establecido el diagrama causal, se pasará a indicar dónde y cómo se recogen, en el mismo, las políticas de decisión habitualmente empleadas por la organización. Éstas dan lugar a las decisiones adoptadas, pudiendo ser consideradas, por tanto, como las causantes del problema planteado.

4. *Elaboración del modelo matemático.*

Una vez que el investigador cree haber identificado las políticas de decisión y la totalidad de los flujos de realimentación que determinan la estructura y el comportamiento del sistema, debe elaborar un modelo matemático compuesto por una serie de ecuaciones diferenciales, cuya misión es plasmar, de forma sintética, el funcionamiento real del sistema objeto de análisis, a través de las interacciones existentes entre las variables incluidas en el mismo.

² En este sentido, un test decisivo para establecer el grado de significación de un factor, de cara a su inclusión en el modelo, es observar el comportamiento de éste, con, y sin dicho factor [7].

Durante el proceso de construcción de dicho modelo matemático, habrá que discernir entre variables nivel —que indican el estado del sistema—, variables control, y parámetros de esas variables control³ [7]. Con carácter general, un modelo adecuadamente construido no se ve afectado por la falta de especificación acerca del rango de variación posible, de muchos de los valores de los parámetros; pues su sensibilidad a los valores de los parámetros no debe ser mayor que la sensibilidad del sistema real a los factores correspondientes⁴.

5. *Simulación del comportamiento del sistema, ante las distintas decisiones aplicadas.*

Gracias a las ecuaciones que integran el modelo matemático, será posible generar el comportamiento del sistema objeto de estudio⁵; permitiendo esto a su vez, observar las distintas interacciones entre las variables, y las respuestas que se llevan a cabo desde ciertas áreas del sistema, cuando las mismas se ven afectadas por las decisiones adoptadas en otras áreas.

De esta forma, los miembros de la empresa podrán evaluar las posibles consecuencias de acciones alternativas, y comparar los costes y beneficios de cada posible resultado⁶; pudiendo observarse, igualmente, las consecuencias que acarrearán las distintas políticas adoptadas, tanto a corto, como a largo plazo.

6. *Comparación de los resultados obtenidos de la simulación, con los datos disponibles sobre el sistema real.*

En la medida en que los resultados de la simulación se aproximen a los reales, el modelo será considerado como fiel reflejo de la realidad⁷.

³ Cada uno de los parámetros debería tener un significado en el escenario de la vida real.

⁴ El test de sensibilidad permite comprobar como la elección entre las distintas alternativas de solución, no se ve generalmente afectada por razones de cambios en los parámetros.

⁵ Previamente a la realización de la simulación, habrá que establecer el horizonte temporal durante el cual se pretende examinar el comportamiento del sistema, la longitud de cada intervalo de tiempo, y el método de integración a aplicar.

⁶ Ésta es una opción especialmente importante, porque las políticas se establecen, y las decisiones se toman, mediante la interacción de muchas personas [11].

⁷ Es sin embargo preciso resaltar, que la utilidad de un modelo vendrá dada no por su capacidad para reproducir el pasado, sino por su correcta

Es entonces cuando se proceden a realizar distintas simulaciones, con objeto de analizar qué efectos tendrían sobre el comportamiento del sistema las diversas políticas alternativas.

Pese a todo, cabe señalar [8], que la adecuación del modelo no es una prueba de su validez; la cual debe consistir en un compromiso entre la adecuación del modelo al comportamiento real, y el tiempo y el coste que implica la puesta en práctica de las medidas recomendadas.

7. *Revisión del modelo.*

Si el modelo no resulta justificado, deberá revisarse hasta obtener un modelo que represente con gran similitud el sistema real. Con relación a este proceso cabe indicar que, un modelo siempre se perfecciona a través de un proceso de aprendizaje, obteniéndose gracias a la realización del modelo y a sus posteriores simulaciones, un profundo conocimiento acerca de la estructura del modelo y de su comportamiento; lo cual constituye el verdadero valor del enfoque dinámico de los sistemas [14].

8. *Análisis de las políticas.*

Una vez que el modelo ha sido contrastado, podrá ser empleado para comprobar cómo reacciona el mismo —y en consecuencia el sistema— frente a futuros acontecimientos y/o decisiones a adoptar. De esta forma, será posible simular los beneficios que acarrearía cada política alternativa, con la finalidad de establecer cuál de ellas sería la más adecuada para mejorar el actual comportamiento del sistema⁸.

9. *Puesta en práctica en el sistema real, de las políticas, que se han revelado como óptimas en la fase anterior.*

El último paso es el más importante, a pesar de que a menudo se olvida que la realización y el análisis de la simulación no resulta útil sino tiene algún impacto sobre la toma de decisiones [16].

definición de las fuerzas que operan entre los distintos sectores del sistema analizado [12].

⁸ Para mejorar el comportamiento actual del sistema [8], habrá que realizar múltiples y simultáneos cambios en el mismo. En la mayoría de los casos se ha constatado que la obtención del mejor comportamiento se obtiene, cuando se realizan cambios estructurales en dicho sistema.

No obstante, hay que tener en cuenta que la implantación de las políticas recomendadas por la simulación, conlleva una profunda revisión de las prácticas adoptadas hasta entonces, y de los modelos mentales individuales [8]; por lo que a menudo suele originarse una fuerte resistencia — tanto activa como pasiva— a modificar los tradicionales procesos de actuación, la cual debe ser superada por medio del debate y del proceso de aprendizaje.

Así pues, el resultado del estudio debe ocasionar un cambio en la conducta del sistema, o por lo menos, confirmar que las acciones del presente son correctas. En este último caso, el estudio habrá servido para evitar un cambio indeseable.

III. VALIDACIÓN DEL MODELO

Una de las fases fundamentales del desarrollo y posterior empleo de todo modelo dinámico es la validación del mismo. En la medida en que el modelo es correctamente validado, puede afirmarse que representa adecuadamente el comportamiento del sistema objeto de estudio, garantizándose de este modo su utilidad como instrumento de gran potencial para la toma de decisiones.

Sin embargo, a la hora de proceder a validar un modelo de Dinámica de Sistemas, debe seguirse un cierto orden –Fig. 2– en la aplicación de las pruebas que contrasten su validez.

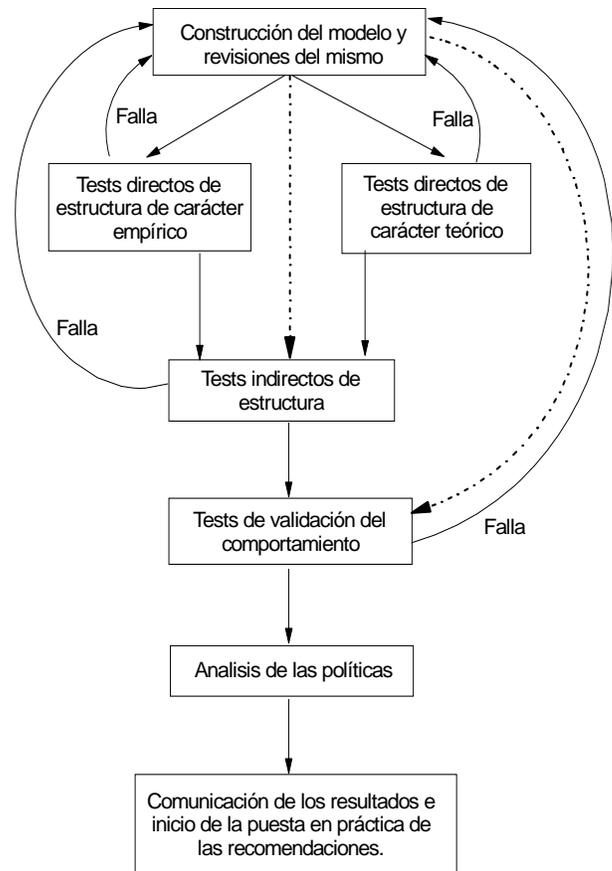


Fig.2: Secuencia de validación del modelo

Así pues, en primer lugar deben aplicarse los *tests estructurales*, dentro de los cuales cabe diferenciar entre:

- ⇒ Los *tests directos de estructura*. Éstos determinan la validación del modelo por medio de la comparación directa de éste, con el conocimiento que se posee a cerca de la estructura del sistema. Dentro de esta categoría cabe distinguir entre tests teóricos, o empíricos, según que los mismos comparen la estructura del modelo con el conocimiento teórico sobre el sistema, o con información cuantitativa, o cualitativa, obtenida directamente del sistema que está siendo modelado.
- ⇒ Los *tests indirectos de estructura*. Se utilizan para determinar de forma indirecta la validación de la estructura del modelo, presentando, frente a los anteriores, la ventaja de ser más adecuados de cuantificar y formalizar. Estas pruebas sirven para valorar si la estructura del modelo es, o no, la adecuada, basándose para ello en la capacidad

del mismo para reproducir comportamientos pasados del sistema.

En segundo lugar, por medio de los *tests de validación del comportamiento* se aplicarán una serie de medidas estadísticas, con objeto de analizar el porqué de las diferencias percibidas entre los datos históricos y los obtenidos por medio de la simulación del modelo. Sin embargo, tales tests deberían centrarse, básicamente, en la validación de los patrones de comportamiento del modelo, más que en comprobar la identidad puntual entre los datos reales y los generados por el modelo [3].

El comportamiento de un sistema es resultado de la confluencia entre las fuerzas derivadas de las relaciones entre los elementos contenidos en su estructura y las condiciones que imperan en el entorno en ese momento. Por tanto, una reproducción del comportamiento del sistema, dato por dato, es prácticamente imposible, aun cuando el modelo sea estructuralmente adecuado [21].

Finalmente, con los *tests de implicaciones de las políticas* se intenta verificar que la respuesta de un sistema a los cambios en las políticas recomendadas por el modelo se corresponde con las predicciones obtenidas a través de éste [9].

A. Tests de comprobación directa de estructura

1) *Test de verificación de la estructura.* Consiste en comparar directamente la estructura de un modelo, con la estructura del sistema real. El modelo superará el test si su estructura no contradice el conocimiento que se posee sobre la estructura del sistema. La verificación de la estructura debería incluir una revisión de las asunciones del modelo, por parte de personas con altos conocimientos sobre las distintas partes del sistema real. Este test es de carácter teórico, o empírico, dependiendo de quienes sean los expertos consultados. Son muchas las estructuras que pasan esta prueba.

2) *Test de verificación de los parámetros.* Como el anterior puede adoptar un carácter tanto teórico, como empírico; ya que los parámetros del modelo pueden ser verificados por medio de su comparación tanto con el conocimiento teórico acerca del sistema, como con las observaciones efectuadas sobre sistema

real objeto de análisis. Consiste en determinar si los parámetros se corresponden, conceptual y numéricamente, con la vida real⁹. Este test está interrelacionado con el anterior, en el sentido de que ambos tienen el mismo objetivo básico: hacer que el modelo dinámico se esfuerce por describir el proceso real de toma de decisiones; siendo de hecho, la línea divisoria entre ambos tests fluida y dependiente del propósito y del horizonte temporal del modelo.

3) *Test de condiciones extremas.* Si se incorpora al modelo el conocimiento sobre las condiciones extremas, el resultado es, casi siempre, una mejora sobre la comprensión del mismo, dentro del campo normal de operaciones. Hay quien opina que este test es innecesario, pues las condiciones extremas no se dan en la realidad, y por tanto no deberían ocurrir en el modelo.

4) Sin embargo, las no-linealidades introducidas por aproximaciones a las condiciones extremas pueden tener importantes efectos en los rangos de operación normal. Este test¹⁰ podría encuadrarse tanto dentro de los tests directos de estructura, como de los indirectos, dependiendo de la forma en que se lleve a cabo.

5) Este test es efectivo por dos razones: (a) tiene una gran utilidad para descubrir fallos en la estructura del modelo, o la omisión de variables importantes, (b) aumenta la utilidad del modelo a la hora de analizar políticas que deberían forzar al sistema a operar fuera de la región histórica de su comportamiento. Esta última capacidad es de gran importancia [9], ya que un modelo que sólo se comporte plausiblemente bajo ciertas condiciones normales, sólo puede ser usado para analizar políticas que no hagan que el sistema opere fuera de esas condiciones.

⁹ La correspondencia conceptual hace referencia a la capacidad de los parámetros para reflejar elementos de la estructura del sistema; mientras que la verificación numérica consiste en determinar si el valor dado al parámetro, cae dentro de un rango plausible de valores de la variable real.

¹⁰ El programa de simulación VENSIM introduce la opción "Reality Check", mediante la cual es posible establecer una afirmación y, posteriormente, realizar una simulación, con objeto de comprobar, si el comportamiento del modelo se adecua, o no, a lo estipulado previamente.

6) *Test de consistencia dimensional*. Este test supone un análisis dimensional de las ecuaciones de ratios del modelo. Sorprendentemente muchos modelos fallan a la hora de pasar este test, pasándolo muchos otros, por medio de la inclusión de parámetros escalares, con poco o ningún significado real; por lo que esta prueba cobra fuerza, si se aplica en conjunción con el test de verificación de los parámetros¹¹.

B. Tests de comprobación indirecta de estructura

Evalúan la adecuación de la estructura del modelo a través del análisis del comportamiento que genera éste.

1) *Test de adecuación estructural de los límites del modelo*. Por medio de este test se cuestiona si la agregación del modelo es, o no, la apropiada; y si el modelo incluye todos los elementos relevantes que integran la estructura del sistema objeto de estudio. El test no será superado si es necesario añadir una hipótesis adicional a su estructura. Este test debe llevarse a cabo teniendo como referencia el propósito del modelo que se está evaluando; de ahí, que no deban incorporarse a su estructura aquellas variables que tengan escasa influencia en el comportamiento del modelo. Pues, de incluirse éstas, los límites del modelo pueden extenderse indefinidamente, con el consiguiente incremento de su complejidad.

2) *Test de reproducción del comportamiento*. Este test examina la semejanza entre el comportamiento generado por el modelo y el observado en el sistema real; incluyéndose en el mismo:

A. *La generación sintomática*. Ésta consiste en examinar si el modelo recrea, o no, los síntomas de dificultad que han motivado la construcción del modelo.

B. *La generación de frecuencia y de fases relativas*. Éstos tests se centran en la periodicidad de las fluctuaciones y de las fases de relación entre las variables del modelo.

C. *El test de modo múltiple*. A través de esta prueba se valora si un modelo es, o no, capaz de generar más de un modo de comportamiento observado.

D. Un modelo capaz de generar dos periodicidades de fluctuación distintas, observadas en el sistema real, proporciona la oportunidad de estudiar la posible interacción entre dichas fluctuaciones y cómo distintas políticas afectan a cada una de ellas¹².

E. *El comportamiento característico*. Este test examina aspectos del comportamiento tales como una peculiar forma de fluctuación de series temporales.

3) *Test de predicción del comportamiento*. Es un test análogo al anterior, con la salvedad de que en éste se analiza el previsible comportamiento futuro del sistema. Se incluyen en esta categoría:

A. *Test de predicción de patrones*: Examina si el modelo genera, o no, patrones de comportamiento cualitativamente correctos sobre el futuro comportamiento del sistema objeto de análisis.

B. *Test de predicción de acontecimientos*: Se centra en un particular cambio que se estima como previsible dentro de unas circunstancias altamente probables. La preocupación debe radicar, más en conocer la naturaleza dinámica del acontecimiento, e identificar las condiciones que conducen al mismo, que en conocer el momento exacto en que ocurrirá.

4) *Test de comportamientos anómalos*. Es un test inherente a la realización de un modelo dinámico, ya que durante la construcción y las

¹¹ El programa de simulación VENSIM incorpora la posibilidad de llevar a cabo este test por medio de su opción "Chequeo de unidades", que compara las unidades contenidas en cada uno de los dos miembros de la igualdad, de cada una de las ecuaciones del modelo.

¹² Alternativamente, este test debería ser aplicado a un modelo que intenta explicar porqué un modo de comportamiento histórico da paso a otro.

posteriores simulaciones con el modelo es probable que surjan comportamientos anómalos, que entran en conflicto con el comportamiento del sistema real. Una vez identificados los elementos de la estructura del modelo, responsables de dicho comportamiento anómalo, normalmente se descubre que su origen se encuentra en alguna de las hipótesis o de los supuestos de partida del modelo; por lo que tras eliminar el elemento causante de la anomalía, o modificar la hipótesis que origina ésta, el comportamiento anómalo desaparece.

5) *Test de miembro familiar*. -Capacidad de generalización-. Los modelos de dinámica de sistemas representan, normalmente, a una familia de sistemas sociales; es decir, a un conjunto de sistemas con características estructurales comunes, aun cuando difieran en aspectos puntuales. La teoría general y la estructura común al conjunto se encuentran recogidas en la estructura del modelo; mientras que los casos especiales se reflejan en los parámetros. De esta forma, el modelo es capaz de reflejar las características compartidas por todos los sistemas de una misma clase — pudiendo obtenerse así, conclusiones válidas para todos ellos—, mientras que mediante la modificación del valor dado a los parámetros, el modelo se adapta a cada caso concreto, siendo capaz de reproducir el comportamiento del mismo.

6) *Test de comportamiento sorprendente*. En ocasiones la simulación del modelo da como resultado un comportamiento inesperado. Ante esta circunstancia, el modelador no tiene porque desconfiar a priori del modelo, sino que debe intentar comprender las causas que originan dicho comportamiento, para pasar luego a comparar dicho comportamiento y sus causas con las del sistema real; ya que el mejor y más completo de los modelos es aquél que muestra un comportamiento probable; es decir, aquél que exhibe un comportamiento presente en el sistema real, pero que aún no ha sido reconocido en el mismo, y que ahora emerge durante la

simulación. Por tanto, este test proporciona la oportunidad de identificar comportamientos no reconocidos previamente en el sistema real; contribuyendo así, a incrementar la confianza en la utilidad del modelo.

7) *Test de políticas extremas*. Consiste en alterar una política establecida —una ecuación ratio— de forma extrema, para pasar a determinar —mediante la posterior simulación del modelo—, las consecuencias dinámicas de dicho cambio. A través de este test es posible verificar el grado de resistencia, o de elasticidad del modelo, ante cambios significativos en las políticas incluidas en el mismo. El modelo que pase este test gozará de mayor confianza a la hora de diseñar y analizar las políticas a aplicar, para tratar de mejorar el actual funcionamiento del sistema, dentro de un rango considerado como normal.

8) *Test de condiciones extremas*¹³.

9) *Test de sensibilidad del modelo*. Se centra en analizar la sensibilidad del modelo ante cambios en los valores de los parámetros. Este test permite asegurar si plausibles cambios en los parámetros del modelo pueden causar, o no, fallos en los tests de comportamiento ya realizados. Se utiliza pues, para analizar el impacto que causan los diferentes valores de los parámetros sobre el comportamiento. Tanto el modelo, como el sistema real, suelen mostrarse insensibles ante cambios en la mayor parte de los parámetros, siendo, por el contrario, muy sensibles ante modificaciones en los valores de determinados parámetros. Esto sin embargo, no invalida necesariamente el modelo; pues si el sistema real se muestra tan sensible a los parámetros, como el modelo, aun cuando las modificaciones en los parámetros provoquen fallos en los test de comportamiento, dicha sensibilidad debería ser una importante fuente de análisis, de las políticas alternativas. Por tanto, esos parámetros actuarán como un punto

¹³ Véanse las consideraciones relativas al test de condiciones extremas de carácter directo.

de apalancamiento, dónde las modificaciones de sus valores pueden conducir a mejoras significativas y duraderas [18].

C. Tests de comprobación del comportamiento

Son tests que tratan de emplear medidas estadísticas, no convencionales, para garantizar la adecuación del comportamiento modelado con el real. Entre otros cabe destacar:

1) *Test de comportamiento estadístico*. Este test fue propuesto por Sterman [21] y desarrollado por Oliva [13]. Mediante él se pretende constatar en qué medida el modelo es capaz de reproducir el comportamiento del sistema observado en la realidad —de ahí, la necesidad de disponer de datos históricos sobre una o más variables incluidas en el modelo—; para lo cual, se emplean las siguientes medidas: (a) el coeficiente de determinación R^2 , (b) el error medio cuadrático, y su raíz cuadrada —EMC y REMC—, (c) el error medio absoluto porcentual —EMAP—, y (d) la descomposición del error medio cuadrático en tres componentes Thail [23]: componente de sesgo — U^M —, componente de variación — U^S — y componente de covariación — U^C —, lo que permite conocer el origen de cualquier error detectado¹⁴.

D. Tests de implicaciones de las políticas

Estos tests intentan verificar que la respuesta del sistema real ante un cambio en una determinada política debería corresponder a la predicción hecha por el modelo. Asimismo, también examinan la robustez de las implicaciones de las políticas, cuando se introducen cambios en los límites del modelo, o en los parámetros.

¹⁴ Un U^M alto y unos U^S y U^C bajos revelan un probable error en los parámetros del modelo; por su parte, un U^S alto y unos U^M y U^C bajos reflejan una diferencia sistemática entre una serie y otra; finalmente, un U^C alto y unos U^S y U^M bajos indican que no existe una identidad, punto por punto, entre los datos reales y los simulados, aunque el modelo si es capaz de reflejar adecuadamente el valor medio y las tendencias centrales, dominantes en los datos reales. En orden a otorgar confianza en la habilidad del modelo para reproducir endógenamente el comportamiento del sistema, el error debería ser pequeño y no-sistemático -concentrado en U^S o en U^C -.

1) *Test de mejora del sistema*. Este test pretende contrastar si las políticas propuestas— que han sido consideradas como adecuadas, tras las simulaciones efectuadas con el modelo—, son capaces de mejorar el comportamiento del sistema real. Este test no se realiza hasta que el modelo ha alcanzado suficiente credibilidad. Además, la mayoría de los sistemas sociales sólo tienen reacciones significativas a largo plazo, lo que hace que los resultados de este test se acumulen lentamente, dificultándose así, la detección de la relación causa-efecto. Por tanto, la confianza en las implicaciones de las políticas del modelo debe ser realizada a través de otros tests.

2) *Test de predicción de cambios en el comportamiento*. Su objetivo es constatar si el modelo predice correctamente cómo cambiará el comportamiento del sistema, cuando cambie una política. Puede ser utilizado para cambiar políticas y verificar su idoneidad ante los cambios en el comportamiento resultante, o para examinar las respuestas de un modelo ante políticas que han sido seguidas en el sistema real; pudiendo comprobarse así, si el modelo responde ante cambios en las políticas¹⁵, de igual forma que lo hace el sistema real.

3) *Test de adecuación de las fronteras del modelo a las políticas formuladas*. El test examina cómo se verían alteradas las recomendaciones sobre las políticas a establecer, cuando se modifican las fronteras del modelo. Pretende, en definitiva, contrastar si las políticas propuestas son, o no, sensibles a alteraciones o ampliaciones de la estructura del modelo, y si es por tanto necesario, o no, modificar la recomendación inicial sobre qué política aplicar.

4) *Test de sensibilidad de las políticas*. Este test indica en qué medida las recomendaciones sobre las políticas se encuentran influenciadas por la incertidumbre en los valores de los parámetros. Por tanto, ayuda a poner de manifiesto el riesgo asociado al empleo del modelo, como instrumento de toma de decisiones; de modo que si las mismas políticas pudieran ser recomendadas, sin tener en

¹⁵ Si el modelo representa a una familia de sistemas, éstos actuarán, probablemente, bajo distintas políticas; por lo que las políticas del modelo

cuenta el valor de los parámetros -dentro de un rango considerado como probable-, el riesgo de uso del modelo sería menor, que si dos plausibles grupos de parámetros condujeran a recomendaciones de políticas opuestas.

IV. CONCLUSIONES

Tal y como se ha expuesto a lo largo del presente trabajo, la elaboración de un modelo de Dinámica de Sistemas no constituye un proceso secuencial, sino de prueba y error, como es propio de todo proceso de aprendizaje.

Para poder otorgar solidez al conocimiento alcanzado gracias a la construcción del modelo y a las distintas simulaciones efectuadas con el mismo, es esencial haber procedido a la validación del modelo.

Son múltiples y muy variadas -cualitativas y cuantitativas, teóricas y empíricas, directas e indirectas- las pruebas a las que se debe someter todo modelo de Dinámica de Sistemas para garantizar su validación; sin que el empleo de técnicas exclusivamente estadísticas, tenga porqué conllevar un mayor carácter científico de las disciplinas que las emplean, frente a la Dinámica de Sistemas.

REFERENCIAS

[1] J. Aracil, "Introducción a la Dinámica de Sistemas". Alianza Universidad Textos, Madrid. 1986.

[2] I. Barclay, "The new product development process: part 2. Improving the process of new product development", *R&D Management*, Vol. 22 No 4. pp. 307-317. 1992

[3] Y. Barlas, "Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models", *European Journals of Operational Research*, No 42, 1989, pp. 59-87.

[4] Y. Barlas, "Formal aspects of model validity and validation in system dynamics", *System Dynamics Review* Vol 12 No 3. pp. 183-210. 1996

[5] C. Eden, «Cognitive mapping and problem structuring for system dynamics model building», *System Dynamics Review*, Vol. 10, No 2-3, verano-otoño, 1994 pp. 257-276.

[6] J.W. Forrester, "Industrial dynamics". The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1961.

[7] Forrester, J.W.: «Policies, decisions and information sources for modeling», *European Journal of Operational Research*, No 59, 1992 pp. 42-63.

[8] J.W. Forrester, "System dynamics, systems thinking, and soft OR", *System Dynamics Review*, Vol. 10, No 2-3. pp. 245-255. 1994

[9] J.W. Forrester and P. Senge, "Tests, for building confidence in system dynamic models". *TIMS Studies in Management Sciences* No 14, 1980 pp. 209-228.

[10] B. Hannon and M. Ruth, "Dynamic Modeling". Springer-Verlag, New York. 1994.

[11] D.L. Meadows, "Hacia una ciencia de la predicción de la predicción social". en Aracil (eds). *Lecturas sobre dinámica de sistemas*. Subsecretaría de Planificación. Madrid. 1977.

[12] I. Nonaka, "Redundant, overlapping organization; A japanese approach to managing the innovation process", *California Management Review*, primavera 1990, pp. 27-38.

[13] R. Oliva, *A VENSIM Module to Calculate Summary Statistics for Historical Fit* D-4584, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. 1996.

[14] M. J. Radzicki, and D.A. Seville, "An institutional dynamics model of sterling, Massachusetts: Indicative planning at the local level", *Journal of Economic Issues*, Vol. XXVII No 2 Jun 1993 pp. 481-492.

[15] G. P. Richardson and A.L. Pugh, *Introduction to system dynamics modeling with DYNAMO*. MIT Press, Massachusetts. 1981.

[16] R.G. Schroeder, "Administración de operaciones. Toma de decisiones en la función de operaciones". (3ªed.), Mc Graw-Hill, México. 1992.

[17] W.W.III Schroeder, «Dinámica de sistemas: un instrumento único para el análisis de sistemas sociales para los que existe escasez de información». en Aracil (eds). *Lecturas sobre dinámica de sistemas*. Subsecretaría de Planificación. Madrid. 1977.

[18] P.M Senge, "La quinta disciplina". Granica, Barcelona. 1993.

[19] P.M Senge, *La quinta disciplina en la práctica*. Granica, Barcelona. 1995.

[20] P. Starr, "Modeling issues and decisions in system dynamics", *TIMS Studies in the Management Science*, No 14, 1980 pp. 45-59.

[21] J. D. Sterman, "Appropriate summary statistic for evaluating the historical fit of system dynamics models", *Dynamica*, Vol 10 Parte II. pp. 51-66. 1984.

[22] M. Tampoe and B. Taylor, "Strategy Software: Exploring its potential", *Long Range Planning*, Vol 29, No 2. pp. 239-245. 1996

[23] H. Theil, "Applied Economic Forecasting". Amsterdam North Holland Publishing Company. 1966.

[24] J.A.M Vennix, and J.W. Gubbels, "Knowledge elicitation in conceptual model building: A case study in modeling a regional Dutch health care system", *European Journal of Operational Research*, No 59. pp. 85-101. 1992.

general pueden ser alteradas, para verificar si el modelo es capaz de reproducir los comportamientos observados en los distintos sistemas.