

“La Simulación al Servicio de la Academia - Reflexiones y Aplicaciones de la Dinámica de
Sistemas en Colombia 2011”
Memorias del 9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas
ISSN 2027-7709

Trabajo de compilación presentado
como el requisito parcial de ‘trabajo de grado’ para optar al título de
Administrador de Empresas
en la Facultad de Administración
Programa de Administración de Empresas
Universidad del Rosario

Universidad del Rosario - Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas
Bogotá D.C. – Colombia
14 al 16 de septiembre de 2011

“La Simulación al Servicio de la Academia - Reflexiones y Aplicaciones de la Dinámica de
Sistemas en Colombia 2011”
Memorias del 9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas
ISSN 2027-7709

Trabajo de compilación presentado
como el requisito parcial de ‘trabajo de grado’ para optar al título de
Administrador de Empresas
en la Facultad de Administración
Programa de Administración de Empresas
Universidad del Rosario

Editor
Diego Cardona Eng MSc PhD

Compilador
Carlos Andrés Avellaneda Sánchez

Universidad del Rosario - Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas
Bogotá D.C. – Colombia
14 al 16 de septiembre de 2011

Tabla de contenido

1.	Introducción -----	4
2.	Una Aproximación desde la dinámica de sistemas a la liberación del mercado de los biocombustibles en Colombia-----	8
3.	Modelo de Competencia de un duopolio aplicando dinámica de sistemas-----	16
4.	Red de aprendizaje para la articulación de las instituciones educativas del departamento de Casanare -----	26
5.	Impacto del esquema de intercambio de electricidad en la integración energética entre Ecuador, Colombia y Panamá -----	30
6.	Relación entre recursos, eficiencia y tiempo de rta. del sistema logístico de atención humanitaria desde un enfoque sistémico -----	37
7.	Modelado del Mecanismo de Desarrollo Limpio en la Unión Europea -----	44
8.	Dinámica del mercado laboral colombiano: un análisis de políticas de empleo aplicando dinámica de sistemas-----	51
9.	Modelo de dinámica de sistemas para el proceso de producción de la mandarina-----	61
10.	Modelo de dinámica de sistemas para la cadena de abastecimiento de la granadilla en Cundinamarca, Colombia-----	67
11.	Modelo de Dinámica de Sistemas para las Frutas Orgánicas - El Lulo -----	74
12.	Modelo Sistémico para el Manejo de Residuos Sólidos en Instituciones Educativas en Colombia -----	82
13.	Modelo de manejo de inventarios para una empresa de alquiler de equipos de construcción -----	87
14.	Diseño del Sistema de Protección Social Integral de las Instituciones de Educación Superior en Colombia “SPISIES” -----	94
15.	Deslizamiento de suelos visto desde la dinámica de sistemas -----	101
16.	Modelo para Biorremediación de Suelos Contaminados. Una Aproximación con Dinámica de Sistemas-----	104
17.	Formulación de políticas para la penetración de las Smart Grid en Colombia -----	110
18.	Análisis de los elementos que interactúan en la priorización dinámica de despacho uniproducto -----	116
19.	Implicaciones del mercado de carbono en el sector eléctrico español -----	123
20.	Cooperación por percepción de sanción en el control de emisiones móviles-----	131
21.	Desarrollando competencias en la toma de decisiones con dinámica de sistemas: una experiencia de aula -----	136
22.	Competentes a los porrazos: la enseñanza de dinámica de sistemas en la Universidad de los Andes-----	145
23.	Reflexiones sobre el diseño de experimentos con Dinámica de Sistemas en Educación -----	155
24.	Modelo de Dinámica de Sistemas para evaluar una política baja en carbono para Colombia-----	161
25.	Proceso de aprendizaje de los principios de la macroeconomía: modelo económico clásico como herramienta pedagógica -----	166
26.	Una aproximación con dinámica de sistemas para explicar el modelo de degradación de desechos en rellenos sanitarios-----	174
27.	Pantallas Táctiles y Juegos de Simulación en Dinámica de Sistemas -----	179
28.	Modelo con dinámica de sistemas: herramienta en el aprendizaje del eslabón de producción de la cadena productiva del cacao-----	183

29. Una experiencia de investigación-acción en la integración de la DS en la escuela -----	191
30. Sobre La Dinámica de un Sistema de Gestión de Inventarios -----	201
31. Modelo de la seguridad alimentaria en la ciudad de Medellín: un enfoque sistémico desde la accesibilidad económica -----	208
32. Generación y acumulación de valor en la cadena de abastecimiento -----	216
33. Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A. -----	223
34. Análisis sistémico y viabilidad de organizaciones rurales en Colombia -----	228
35. Evaluación dinámica de factores de diferenciación en un mercado de fotocopias-----	238
36. Aproximación a la Problemática del Sistema Nacional de Salud en Colombia a Través de un Ejemplo-----	244
37. Simulación del tráfico de la carrera séptima en Bogotá D.C. Colombia, entre calles 34 y 72 utilizando dinámica de sistemas -----	251
38. Modelamiento de la demanda de servicios logísticos de almacenamiento a través de dinámica de sistemas -----	260
39. El impacto e implicaciones de la desintermediación en la gestión de la caden de suministro. Un enfoque holista -----	266
40. Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos-----	274

RESUMEN

“La simulación al servicio de la academia - Reflexiones y aplicaciones de la Dinámica de Sistemas en Colombia 2011”, son las memorias del noveno encuentro colombiano de Dinámica de Sistemas celebrado en la Universidad del Rosario los días 14, 15 y 16 de septiembre de 2011, en el cual participaron ponentes de universidades nacionales e internacionales y se contó con la presencia de expertos en el tema quienes acompañaron y lideraron el desarrollo de las exposiciones durante los tres días.

Diego Cardona Eng MSc PhD, organizador del evento, recoge la producción de sus participantes y acá se presenta la compilación de los documentos presentados.

PALABRAS CLAVE

Dinámica de sistemas, complejidad, estrategia.

ABSTRAC

“The simulation in academic service – Reflections and applications of System Dynamics in Colombia 2011” are the memories of ninth meeting of System Dynamics in Colombia, held in Rosario University on 14, 15 and 16 September 2011, in which participated speakers from national and international universities and was attended by experts in the topic, who accompanied and led the development of exhibitions during the three days.

Diego Cardona Eng MSc PhD, the event organizer, shows the production of its participants and here it present the compilations of documents.

KEY WORDS

System Dynamics, Complexity, strategy.

Introducción

La Dinámica de Sistemas Un Paradigma de Pensamiento que Impacta en la Sociedad

Diego Cardona PhD¹

Octubre 12, 2011

En un entorno como el actual, la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario definió el Liderazgo para el Management de las Organizaciones en Entornos Complejos como motivo central de su proyecto académico. En estos términos, ha sido necesario adecuar el devenir y la concepción del futuro por construir, constituyendo la interdisciplinariedad como ancla del quehacer de la Facultad en el que médicos, abogados, físicos, sociólogos, biólogos, ingenieros, economistas, psicólogos, filósofos, matemáticos y administradores, entre otros, se reúnen para tratar de comprender las organizaciones como sistemas biológicos, capaces de modificar la realidad superando el paradigma dominante consistente en entenderlas como predecibles, estables, ordenadas, lineales y controlables.

Por este motivo, la Facultad ha venido trabajando en la consolidación de un Laboratorio de Modelamiento y Simulación con el objeto de apoyar los proyectos desarrollados por los investigadores adscritos al Grupo de Investigación en Perdurabilidad Empresarial – GIPE, mediante el modelamiento, no solo desde los paradigmas tradicionales, sino también desde aproximaciones no clásicas, en respuesta a la necesidad de explicar una realidad cambiante y dinámica en la que los modelos tradicionales no dieron respuesta satisfactoria. De este modo se propende por la innovación en el conocimiento con el rigor apropiado para la creación de herramientas que apoyen a los líderes de las organizaciones en el proceso de toma de decisiones, teniendo en cuenta que las ciencias de punta se articulan no solo en torno a las ciencias sociales y humanas, sino que también alrededor de las ciencias naturales o exactas y en torno a las ciencias cognitivas, de la vida, de la tierra, de la salud, del espacio, de materiales y de las ciencias de la complejidad, entre otras.

En los anteriores términos la Universidad del Rosario, a través de la Dirección de Extensión y la Coordinación Académica de la Dirección de Investigación de la Facultad de Administración, conjuntamente con la Presidencia de la Sociedad Colombiana de Dinámica de Sistemas organizaron entre el 14 y 16 de septiembre de 2011, el 9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas como expresión de esa necesaria articulación entre Ciencias².

¹Diego Cardona, diego.cardona@urosario.edu.co, Ingeniero Civil, Matemático, Especialista en Gerencia de Proyectos, MSc en Administración y PhD en ciencias Administrativas. Profesor Asociado de la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario con funciones de Director de Investigaciones, experto internacional y consultor en aplicación estratégica de tecnologías de información en organizaciones.

Es importante entender que la Dinámica de Sistemas es un paradigma de pensamiento que no es exclusivo de una ciencia, sino que todo lo contrario, se trata de un lenguaje o un sistema de lenguajes que apoyan el proceso de interpretar problemas de interés provenientes de múltiples ciencias y por ello su carácter incluyente no proviene de su posible rol como herramienta, sino por su condición de paradigma de pensamiento que la contextualiza y que a su vez es una manifestación de la diversidad de esta forma de pensamiento.

Como resultado, se logró convocar a un grupo de participantes, entre docentes, investigadores, consultores, estudiantes y miembros de la comunidad en general, que representaron a diversas Universidades colombianas y también extranjeras, quienes compartieron experiencias conceptuales, metodológicas y prácticas relacionadas con el modelamiento y la simulación bajo ambientes de Dinámica de Sistemas desde múltiples áreas del conocimiento. La convocatoria se divulgó a través de los canales tradicionales de la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas y también a nivel nacional a través de la Asociación Colombiana de Facultades de Administración – ASCOLFA, La Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería – ACOFI y a nivel internacional a través del Consejo Latinoamericano de Escuelas de Administración – CLADEA y la World Association for Case Research and Application – WACRA.

Como ya es costumbre, en el marco del Encuentro se desarrolló la denominada “Escuela de Verano: La Complejidad en la Dinámica de Sistemas”, bajo la coordinación del grupo Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. En desarrollo de la Escuela, el Profesor Gerard Olivar PhD en Matemáticas Aplicadas de la Universidad Politécnica de Cataluña, en conferencia virtual y gracias a las facilidades que proveen las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – TIC desde la Universidad de Bristol en Inglaterra, presentó un análisis de la Dinámica de Sistemas en el ámbito energético, igualmente el profesor Jorge Hernández MSc en Ingeniería – Recursos Hídricos, en representación de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín coordinó una discusión sobre las instituciones que facilitan el cambio climático y finalmente el profesor Isaac Dyner PhD en Ciencias de la Decisión de la Universidad de Londres y MSc en Investigación Operacional de la Universidad de Southampton, quien es considerado el padre de la Dinámica de

²<http://www.urosario.edu.co/Administracion/9encuentrodinamicasistemas>

Sistemas en Colombia, hizo una revisión del modelamiento de economías bajas en carbono, para posteriormente realizar, bajo la coordinación del profesor Carlos Franco, PhD en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, un ejercicio de discusión entre el grupo de participantes que giró alrededor de las siguientes preguntas ; 1. Dado que en Colombia la generación hidrotérmica es dominante, ¿Cómo fomentar la diversificación del parque generador?, 2. Dado que en Colombia hay muy poco gasto en I&D, se creó un fondo de 20 millones de dólares anuales. ¿Cómo modificar el sistema de I&D para convertir a Colombia en un país orientado a la I&D en energías bajas en carbono?, 3. ¿Cómo fomentar la entrada de tecnologías eficientes en los hogares, industria y comercio? Y 4. ¿Cómo lidiar con el desplazamiento de la frontera agropecuaria?

Una vez finalizada la Escuela de Verano, se inauguró el encuentro con la presencia en la mesa directiva de Carlos Méndez, MSc en Administración de la Universidad de los Andes en Colombia y Decano de la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario, quien en su condición de anfitrión, dio la bienvenida a los participantes en compañía de Hugo Andrade, MSc en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander en Colombia, en su condición de Presidente de la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas. En la apertura, la conferencia central estuvo a cargo de Pablo Collazzo, PhD en Economía de la Universidad Nacional de Uruguay, MSc en economía de la Universidad de Boston, profesor de la Escuela de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Viena en Austria, Secretario General del Capítulo Europeo de Microeconomía para la Competitividad del Instituto para la Decisión quien disertó sobre La Responsabilidad Social desde la Perspectiva de la Dinámica de Sistemas.

Las ponencias presentadas en el Encuentro cubrieron innovadores tópicos que fueron desde aspectos formales del lenguaje y la metodología de la Dinámica de Sistemas hasta aplicaciones industriales, pasando por ecología y ambiente, economía y sociedad, educación, energía, gestión y política pública, TIC y sociedad de la información entre otros, las cuales fueron seleccionadas tras un riguroso proceso de evaluación que estuvo bajo la responsabilidad directa de un comité académico conformado por expertos nacionales e internacionales de primer orden convocados por la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas.

Como resultado del proceso de selección desarrollado por este comité académico, se contó con la presencia como ponentes de representantes de la Alcaldía de Medellín con la ponencia “Model of food security in the Medellín city: a systemic approach from the economic accessibility”, presentado por Juan Posada y Carlos Franco, la Universidad CES con la ponencia “Teoría de la firma y los costos de transacción en las políticas públicas. Una propuesta fundamental en Colombia”, presentado por Jahir Gutiérrez, la Fundación Universitaria de San Gil – Unisangil con la ponencia “Red de aprendizaje para la articulación de las instituciones educativas del departamento de Casanare” presentado por Abdías Gómez, la Universidad Autónoma de Bucaramanga con las ponencias “Cooperación por percepción de sanción en el control de emisiones móviles” presentado por Jorge Parra, “Concepciones de diseño para un ambiente de aprendizaje de estrategias de crecimiento empresarial basado en simulación” presentado por Carolina Ariza, la Universidad Católica de Colombia con las

ponencias “Simulación del tráfico de la carrera séptima en Bogotá, entre las calles 34 y 72 utilizando Dinámica de Sistemas” y “Modelación de la demanda de servicios logísticos con Dinámica de Sistemas” presentados por Olga Romero, Mauricio Becerra, Milton Herrera y Johanna Trujillo, la Universidad Católica de Pereira con “El mercado de acceso banda ancha a internet visto desde la Dinámica de Sistemas” presentado por Luis Flétscher, la Universidad Central con la ponencia “On the dynamics of an Inventory management system” presentado por Fernando Guerra, Fabián Varón, Mario Cañón, la Universidad de la Sabana con las ponencias “Relación entre recursos, eficiencia y tiempo de respuesta del sistema logístico de atención humanitaria desde un enfoque sistémico” presentado por Viviana Moreno, Leonardo González y “Pantallas táctiles y juegos de simulación en Dinámica de Sistemas” presentado por Ángela Ramírez, Jenny Robayo y Ricardo Sotaquirá, la Universidad de los Andes con la ponencia “Hipótesis dinámicas a los porrazos: la enseñanza de la dinámica de sistemas” presentado por Valentina Aceros, Adriana Díaz, Sebastián Escobar y Camilo Olaya, la Universidad de Pamplona con la ponencia “Una aproximación con dinámica de sistemas para explicar el modelo de degradación de desechos en rellenos sanitarios” presentado por Cesar Quintana y Carlos Parra, la Universidad del Rosario con las ponencias “Estudio del problema de definición del origen y diagnóstico de la enfermedad profesional en Colombia bajo la metodología de dinámica de sistemas” presentado por Javier Gonzalez y Diego Cardona, “Apropiación con dinámica de sistemas de la metodología para la medición de clima organizacional – IMCOC” presentado por Iván Mendoza, Sandra Bolívar y Carlos Méndez y “Modelo para un programa de readaptación social para internos de una penitenciaría colombiana”, presentado por Iván Mendoza y Dania Rojas, la Universidad del Valle con las ponencias “Análisis de los elementos que interactúan en la priorización dinámica de despacho uniproducción” presentado por Andrés Betancourt, Fabián Rojas y Javier Ramos, “Evaluación dinámica de factores de diferenciación en un mercado de fotocopias” presentada por Jennifer Hincapié, Guillermo Salinas, Anthony Victoria y Juan Osorio, “El impacto e implicaciones de la desintermediación en la gestión de la cadena de suministro. Un enfoque holista” presentado por Oscar Rubiano y Giovanni Bulla y “Análisis del impacto generado en un sistema de gestión integral de residuos sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas” presentado por Silvia Ávila, Diana Jiménez, María Nieto y Juan Osorio, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con las ponencias “Modelo de competencia de un duopolio aplicando Dinámica de Sistemas” presentado por Ramiro López y Germán Méndez, “Dinámica del mercado laboral colombiano: un análisis de políticas de empleo aplicando Dinámica de Sistemas” presentado por Adriana Ávila, Ramiro López y Germán Méndez, la Universidad ICESI con la ponencia “Generación y acumulación de valor en la cadena de abastecimiento” presentado por Mario López, Pedro Arana y Fernando Arenas, la Universidad Industrial de Santander con las ponencias “Desarrollando competencias en la toma de decisiones con Dinámica de Sistemas: una experiencia de aula” presentado por Gina Maestre, Giovanni López y Hugo Andrade, “Reflexiones sobre el diseño de experimentos con Dinámica de Sistemas en educación” presentado por José Arismendi y Hugo Andrade, “Improving the learning process of macroeconomics principles by using the classical economic model as a teaching tool” presentado por Jair Andrade, Urbano Gómez y Hugo Andrade, “Proposal of a model system dynamics as a tool in

learning link chain production of cocoa” presentado por Natalia Martínez, Urbano Gómez y Hugo Andrade y “Una experiencia de investigación-acción en la integración de la Dinámica de Sistemas en la escuela”, presentado por Giovanni López, Gina Maestre y Hugo Andrade, la Universidad Libre con la ponencia “Modelado de sistemas de transporte masivo empleando Dinámica de Sistemas: Caso Transmilenio S.A.” presentado por Oscar Mayorga, July Moscoso, Mileidy Perdomo y Lady Perdomo, la Universidad Militar Nueva Granada con las ponencias “Research for the optimization of the process of mandarin” presentado por Lorena Castro, Laura Morales, Mario Verástegui e Isaac Huertas, “System dynamics model for fruit- la granadilla” presentado por Johana Clavijo, John Buitrago, Mario Verástegui e Isaac Huertas, “System dynamics model for organic fruits - the lulo” presentado por Camila Fernández, Lida Ariza, Mario Verástegui e Isaac Huertas y “Modelo de manejo de inventarios para una empresa de alquiler de equipos de construcción” presentado por Mario Verástegui e Isaac Huertas, la Universidad Nacional de Colombia con las ponencias “Systemic analysis and viability of rural organizations in Colombia” presentado por Iván Montoya y José Vargas, “Mercado de los biocombustibles en Colombia” presentado por Sebastián Zapata, Carlos Franco e Isaac Dyrer, “Impact of the electricity exchange scheme in the energy integration between Ecuador, Colombia and Panamá” presentado por Dayanna Osorio y Carlos Franco, “Modeling the clean development mechanism in the European Union and its implications over the electricity sector” presentado por Walter Zuluaga y Laura Cárdenas, Carlos Franco e Isaac Dyrer, “Formulación de políticas para la penetración de las smart grid en Colombia” presentado por Natalia Castaño y Carlos Franco, “Implications of the carbon market in the Spanish electricity sector” presentado por Mónica Castañeda, Laura Cárdenas, Carlos Franco e Isaac Dyrer y “System dynamics modeling for assessing a low carbon policy in Colombia” presentado por Yris Olaya, Oscar Fernández, Laura Cárdenas e Isaac Dyrer, la Universidad Sergio Arboleda con las ponencias “Modelo sistémico para el manejo de residuos sólidos en instituciones educativas en Colombia” y “Modelo para biorremediación de suelos contaminados. Una aproximación con Dinámica de Sistemas” presentados por Danny Ibarra y Johan Redondo, “Deslizamientos de suelos visto desde la dinámica de sistemas” presentado por Carlos Peña y Gerard Olivart, la Universidad de la Guajira con la ponencia “Diseño del sistema de protección social integral de las instituciones de educación superior en Colombia” presentado por Wilmar Sierra, Angela Ortiz, Olivia Rangely Marelis Alvarado y por otro lado se contó con una importante presencia internacional representada por la Universidad de Buenos Aires de Empresa con la ponencia “Model subway line C of the autonomous city of Buenos Aires” presentado por Edgard Maimbil, Nahuel Romera y Ezequiel López y se contó con propuestas remitidas desde Venezuela por la Universidad de Guayana con la ponencia “Modelo de simulación dinámica para evaluar políticas de desarrollo del conocimiento en organizaciones manufactureras” remitido por Wilfredo Guaita, Marián Gomez y Carlos Rodríguez, desde España por la Universidad Abierta de Cataluña con la ponencia “Las Tecnologías de la Información y la Comunicación y su contribución en la construcción de las Ciudades Digitales” remitida por Jairo Ortégón, desde Estados Unidos por la School of Physics of Georgia Institute of Technology con la ponencia “Model-based control of cardiac alternans in Purkinje fibers” remitida por Alejandro Garzón, desde México por la Universidad Tecnológica Metropolitana con la ponencia “Simulación de

cadenas de suministro agroindustriales por dinámica de sistemas: caso Chile habanero yucateco” remitida por Jessica Canto y desde Panamá por la Autoridad para la Innovación Gubernamental con la ponencia “Modelaje de las relaciones en MuNet - Panamá mediante dinámica de sistemas” remitida por Maribel Wong y Diego Cardona.

Así mismo se desarrollaron tres sesiones plenarias, la primera de ellas a cargo de Germán Rodríguez, PhD (c) en Ciencias Administrativas y Director del Programa MiPYME Digital del Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, quien disertó sobre “¿Cómo aproximar la Digitalización de la MiPYME en Colombia desde una perspectiva de la Dinámica de Sistemas?”, la segunda de ellas a cargo de Gustavo Méndez, MSc en Ingeniería y gerente de la empresa que representa TrainingLab Simulation en Colombia, patrocinadores del encuentro, quien disertó sobre “Las experiencias en simulación en la academia” y la tercera de ellas fue un conversatorio sobre la generación de comunidad alrededor de la Dinámica de Sistemas en el que participaron Solón Pino gerente de la empresa Componentes Electrónicas LTDA representantes y distribuidores de Math Lab para Colombia, patrocinadores del encuentro, quien expuso la herramienta como fuente de comunidad, Javier González, PhD en Economía y Gestión de la Salud y profesor principal de carrera en la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario quien expuso la multidisciplinariedad como fuente de comunidad, Hugo Andrade, MSc en Sistemas y Presidente de la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas quien expuso las redes nacionales como fuente de comunidad e Isaac Dyrer, PhD en Ciencias de la Decisión, considerado el padre de la Dinámica de Sistemas en Colombia quien expuso las redes internacionales como fuente de comunidad. El conversatorio estuvo moderado por Diego Cardona, PhD En Ciencias de la Administración y Director de Investigaciones de la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario. Todas las ponencias presentadas quedarán publicadas en las memorias electrónicas del evento tituladas “La Simulación al Servicio de la Academia – Reflexiones y aplicaciones de la Dinámica de Sistemas en Colombia 2011” con ISSN 2027-7709 y las mejores serán publicadas como artículos en la Revista Universidad & Empresa de la Universidad del Rosario, indexada en PUBLINDEX bajo el ISSN 2145-4558.

Al cierre del encuentro se realizó la tradicional reunión de la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas en la que se discutieron temas relevantes para el desarrollo y crecimiento de la comunidad que incluyeron entre otros tópicos la noticia de que Isaac Dyrer PhD asumirá la labor de editor de la Revista de Dinámica de Sistemas de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad de Talca en Chile identificada con ISSN 0718-1884, creándose un comité de apoyo para lograr la incorporación de la revista en una primera instancia en el Servicio de Indexación de Revistas Especializadas de Ciencia, Tecnología e Innovación del Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología de Colombia – COLCIENCIAS y posteriormente buscar su incorporación en otros sistemas de indexación internacional. Adicionalmente se discutieron las diferentes candidaturas para sede del 10º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas y la plenaria optó por apoyar la propuesta compartida en la ciudad de Cali entre la Universidad ICESI y la Universidad del Valle para lo cual se definieron el Comité Académico y el Comité Organizador.

Se discutió la necesidad de propender por la consolidación de la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas y se concluyó en la posibilidad de concretar el antiguo deseo de crear un curso en Dinámica de Sistemas que congregue a su alrededor a todos los interesados en desarrollar este paradigma de pensamiento. Finalmente la plenaria nombró como Presidente de la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas al profesor Jorge Andrick Parra Valencia para el periodo 2011 – 2012. El profesor Parra es Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander con Magister en Informática de la misma Universidad y Doctorado en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia. En la actualidad se encuentra vinculado como docente asociado en el Grupo de Investigación en Pensamiento Sistémico de la Facultad de Ingeniería de Sistemas en la Escuela de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Como se observa, aunque la convocatoria se realizó de manera nacional, se contó con representación de 8 países adicionales;

Argentina, Austria, España, Estados Unidos de América, Inglaterra, México, Panamá y Venezuela. Entre los ponentes se contó con representación de 8 instituciones extranjeras y 26 Instituciones colombianas provenientes de 8 ciudades y asistieron más de 100 participantes provenientes de más de 40 instituciones a lo largo de los 3 días de jornada académica.

Como conclusión, el 9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas permitió difundir metodologías y aplicaciones de la Dinámica de Sistemas que contribuyen a la solución de problemas del entorno, así como consolidar la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas, promover redes que motiven proyectos de investigación y de impacto en la sociedad mediante el intercambio innovador entre la Academia, el Estado y la Sociedad Civil, posicionado nacional e internacionalmente, a la Facultad de Administración del Rosario como líder en la búsqueda de alternativas de solución a problemas de nuestras comunidades usando, entre otros, la Dinámica de Sistemas como un paradigma de pensamiento.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Una Aproximación desde la dinámica de sistemas a la liberación del mercado de los biocombustibles en Colombia

Sebastián Zapata, Ing

Universidad Nacional de Colombia
sede Medellín
(574) 3311863

szapatar@unal.edu.co

Carlos J Franco, PhD

Universidad Nacional de Colombia
sede Medellín

cjfranco@unal.edu.co

Isaac Dyner, PhD

Universidad Nacional de Colombia
sede Medellín

idyner@yahoo.com

RESUMEN

Actualmente en el mundo ha crecido fuertemente la producción de biocombustibles, esto se debe a que se ha decidido explorar otras alternativas para la movilidad aparte de la gasolina y el diesel. Esto debido a que los precios del petróleo tienen una gran volatilidad y el mundo tiene mucha dependencia energética de este producto, y para reducir las emisiones causadas por el uso de los combustibles, ya que los biocombustibles tienen menos emisiones que contribuyen al calentamiento global. Colombia produce biocombustibles etanol y biodiesel, para el biodiesel se utiliza como materia prima la palma de aceite, y para el etanol se utilizan como materias primas la caña de azúcar y la yuca amarga.

En este trabajo mediante dinámica de sistemas se analizarán las políticas actuales que se tienen para la producción de biocombustibles en Colombia, se analizarán posibles escenarios en la producción de los biocombustibles, se analizará la posibilidad de una liberalización del mercado y de una reducción parcial o total de los incentivos.

Palabras claves

Dinámica de sistemas, Incentivos, libre mercado, liberalización del precio.

1. INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles se presentan como una alternativa agroindustrial, sostenible, para la solución de algunos problemas

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá – Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

del suministro de los combustibles fósiles como lo son: la gran volatilidad con los precios y dependencia energética (Bozbaz, 2008, Dermibas, 2009).

Los biocombustibles tradicionalmente provienen de aceites animales o vegetales o azúcares. Actualmente se están produciendo desarrollo a base de biomasa y de celulosa (Bomb, 2007). Como se observa en la **Figura 1**, el proceso de producción de los biocombustibles, empieza con la obtención de la materia prima, a la cual se le adiciona un catalizador o un fermentador para así obtener el biocombustible.

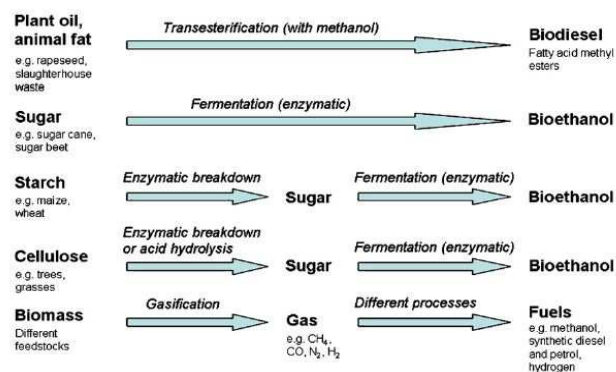


Figura 1. Proceso de producción de biocombustibles. Fuente: Bomb, et al 2007

Luego de la producción del biodiesel o etanol, estos se utilizan para mezclar con diesel y oxigenar la gasolina respectivamente (Szklo, et al, 2007), estas mezclas, mejoran el rendimiento motor (Bozbaz, 2008), reducen emisiones de gases de efecto invernadero y aumentan la vida útil del motor. En el mundo no se utilizan mezclas en los motores el biodiesel y el etanol del 100% debido, a que habría que hacer un cambio en todo el parque automotor, exceptuando a Brasil que es el único país con un sector automotriz que produce carros Flex-fuel E100 es decir que funcionan con etanol al 100% (Coelho, 2006, Szklo, et al, 2007).

La producción mundial de biocombustibles ha venido en aumento en los últimos años ya que en muchos países del mundo se han desarrollado planes para estimular la producción de los mismos, algunos de estos países son Brasil, Argentina, Alemania, Francia, Inglaterra y Colombia entre otros (Dermibas, 2009, Sorda, et al, 2010). En estos países se exige un porcentaje de mezcla entre el combustible fósil y el biocombustible. Lo cual ha llevado a que la producción mundial de biocombustibles aumente en los últimos años como se observa en la **Figura 2**. La excepción en Brasil donde ya se tiene un libre mercado para el etanol.

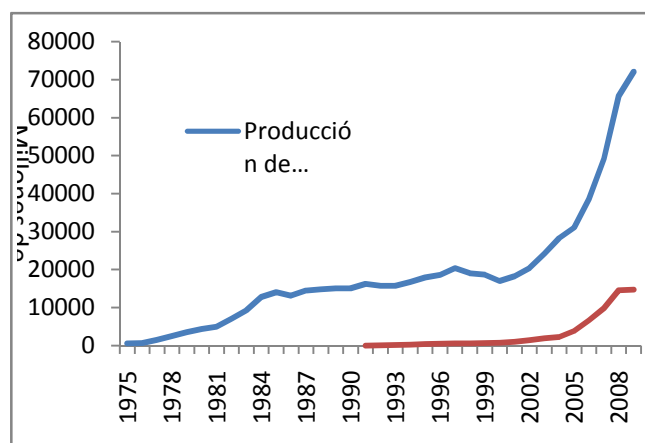


Figura 2. Producción Mundial de biocombustibles. Fuente Sorda et al, 2009.

Los planes con más éxito se han tenido en Brasil y en Argentina (Coelho, 2006, Lamers, et al, 2008). Estos países son grandes exportadores de biocombustibles, Argentina gran exportador de biodiesel, y Brasil el mayor exportador de etanol en el mundo (James, 2011, Poussa, et al, 2008). Estos planes han sido exitosos gracias a que en Brasil se ha tenido gran experiencia con la producción de etanol, a sus bajos costos de producción y materias primas como la caña, a su gran disponibilidad de tierras y a las buenas gestiones que se realizaron durante el plan de etanol (Congreso de la república de Colombia, 2001, Sorda, et al, 2010); Brasil está implementando un plan para la producción de biodiesel, y tiene su porcentaje de mezcla en un 5% de biocombustible con el combustible fósil (Poussa, et al, 2007).

Argentina ha tenido gran éxito gracias a que han sabido reducir costos aprovechando una economía a escala y la experiencia que tenían en los cultivos de los soya la cual es la materia prima para la producción de sus biocombustibles en Argentina (James, 2011, Lamers, et al, 2008).

En la Sección 2 se tratara el tema de los biocombustibles en Colombia, concentrándose en el mercado de biodiesel, en la Sección 3 se planteará la hipótesis dinámica, en la Sección 4 se mostrarán resultados preliminares de simulación y en la Sección 5 se plantearán conclusiones preliminares, el trabajo futuro.

2. LOS BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA

Colombia es un país que posee todas las características para ser un gran productor de biocombustibles, tiene una gran cantidad de tierras subutilizadas aptas para la siembra de biocombustibles, las condiciones climáticas necesarias, y se considera que se tiene

precios de mano de obra competitivos con otros países (EIA, 2010). Gracias a esto el estado Colombiano promulgó la ley 691 para la producción de los biocombustibles en el país Congreso de la república de Colombia, 2001). En esta ley se definen los incentivos que se dan a la producción de biocombustibles y se establece el porcentaje de mezcla en ciudades con más de 500000 habitantes.

Algunos de los incentivos más representativos que da esta ley son:

- Exclusión del IVA a la caña de azúcar (Congreso de la república de Colombia, 2002).
- Exención de la Renta a la palma de aceite (Congreso de la república de Colombia, 2004).
- Renta de 15% (vs. 33%) a proyectos cuya inversión sea superior a 75.000 SMMLV o generen 500 empleos (Congreso de la república de Colombia, 2002).
- Control de los precios de venta del etanol y el biodiesel (Congreso de la república de Colombia, 2002).
- Demanda impuesta, por el estado para el etanol y el biodiesel (Congreso de la república de Colombia, 2002).

2.1 Producción de biocombustibles

En Colombia para la producción de etanol y biodiesel se utilizan como materias primas, el azúcar de la caña de azúcar y la yuca amarga para la producción de etanol; y para la producción de biodiesel sólo se utiliza el aceite de palma africana (Fedebiocombustibles, 2001, Fedepalma, 2009). La totalidad de producción de biocombustibles se observa en **Tabla 1** y **Tabla 2**. En estas tablas se observa las plantas, su capacidad de producción, y el cultivo utilizado para la producción de estos.

Los cultivos de caña dedicados para el etanol se encuentran en el valle geográfico del río Cauca, y la planta de refinación a partir de yuca amarga se encuentra en Puerto López Departamento del Meta como se observa en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Plantas productoras de Etanol. Fuente Fedebiocombustibles, 2011

Planta de refinación	Ubicación	Capacidad (Lts/día)	Cultivo
Incauca	Cauca, Miranda	300.000	Caña de Azúcar
Providencia	Valle, Palmira	300.000	Caña de Azúcar
Manuelita	Valle, Palmira	250. 000	Caña de Azúcar
Mayagüez	Valle, Candelaria	150.000	Caña de Azúcar
Risaralda	Risaralda, La Virginia	100.000	Caña de Azúcar
GPC	Meta, Puerto López	25.000	Yuca Amarga

En el caso de la producción de biodiesel, la producción tiene como una materia prima la palma de aceite como se observa en la **Tabla 2** lo anterior a pesar de que esta tiene requisitos de tierra,

agua y clima exigente, y tiene unos costos de producción altos (Infante, 2009).

Tabla 2. Plantas productoras de biodiesel. Fuente Fedebiocombustibles, 2011

Planta de refinación	Ubicación	Capacidad (Lts/día)	Cultivo
Oleoflores	Cesar, Codazzi	168.719	Palma de aceite
Odin Energy	Magdalena, Santa Marta	337.437	Palma de aceite
Biocombustibles sostenibles del caribe	Magdalena, Santa Marta	337.437	Palma de aceite
Bio D	Cundinamarca, Facatativá	337.437	Palma de aceite
Ecodiesel de Colombia S.A	Santander, Barrancabermeja	333.437	Palma de aceite
Aceites Manuelita S.A	Meta, San Carlos de Guaroa	337.437	Palma de aceite
Clean Energy	Santa Marta, Magdalena	116.000	Palma de aceite

2.2 Planteamiento del problema

Pese a los incentivos que se tienen en Colombia, para la producción de biocombustibles, no se alcanzó a cumplir la producción inicialmente establecida para alcanzar una mezcla de 10%, conocidas como E10 para etanol y B10 para biodiesel con los combustibles fósiles, es por esto que se rebajó la mezcla a 8% y así poder abastecer la demanda que se tiene de este producto. Con el crecimiento actual de la industria no se podrá cumplir con las metas propuestas por el gobierno de subir a una mezcla B20 para biodiesel con el diesel y una mezcla de E20 para el etanol con la gasolina, y no habría forma de cumplir con la demanda potencial que se tendría con la llegada de los vehículos Flex-Fuel (Infante, 2009) que funcionan hasta con un porcentaje de mezcla de E85. En la **Tabla 3** se observa el porcentaje de mezcla que se podría cumplir si el crecimiento de la industria sigue como va, se aprecia que no es posible cumplir el porcentaje de mezcla propuesta por el estado, ni mucho menos convertirse en un país exportador de biocombustibles como lo quiere el gobierno.

Tabla 3. Porcentaje de mezcla que se puede cumplir con el crecimiento actual de la industria. Fuente: Infante, 2009.

2011	2012	2015	2020
B8	B7	B6	B5
E7	E11	E11	E10

Según lo anterior se quiere encontrar las razones por las cuales no se tiene un crecimiento en la industria de los biocombustibles como el que se propone el gobierno Colombiano.

Se debe analizar cuál sería el efecto de aumentar el porcentaje de mezcla, reducir los incentivos y también se quiere estudiar qué pasaría si se propone un porcentaje de mezcla libre.

Para analizar lo anterior se propone un modelo en dinámica de sistemas que se explicará a continuación.

3. BIOCOMBUSTIBLES Y DINÁMICA DE SISTEMAS

La dinámica de sistemas ha utilizada para ver el comportamiento y la entrada de energías limpias, biomasa y biocombustibles (Tesch et al., 2003, Flyn and Ford, 2005), este el caso del estudio que se hizo en Sudáfrica sobre la producción de los biocombustibles, donde se tuvieron en cuenta las políticas que se pueden aplicar y cuál sería el efecto de estas en la industria de biocombustibles en Sudáfrica y esto como afectaría las tierras disponibles para el cultivo, el empleo entre otras. (Musango, 2009).

En Estados Unidos se hizo un trabajo sobre el impacto del biodiesel en el costo de la materia prima la cual es la soya, el límite del crecimiento de los biocombustibles hasta donde deben crecer y como lo deben hacer utilizando un modelo de dinámica de sistemas (Bantz, Deaton, 2006).

En Colombia se han desarrollado trabajos de biocombustibles y dinámica de sistemas entre los cuales se encuentran un análisis a la cadena de suministro de los biocombustibles, en las cuales se analizan precios, rentabilidad, rendimiento, tipo de cultivo y cuál es la mejor elección en Colombia para la producción de biocombustibles (Ochoa, Flórez, Franco, 2008). Se desarrolló un trabajo sobre el impacto en la industria de los biocombustibles si se tiene una variación en los incentivos que se tienen hacia la producción de los biocombustibles (Flórez, Franco 2010).

En la siguiente Sección se mostrará cómo ha sido el desarrollo del modelo y algunos resultados previos.

4. MODELO

Para el análisis de este problema se propone un modelo en dinámica de sistemas, en el cual se puedan analizar, los componentes de la cadena de suministro de los biocombustibles comenzando desde el cultivo, hasta la producción, la capacidad de producción del cultivo y la capacidad de producción de los biocombustibles a partir de las materias primas.

Este problema se puede abordar desde la dinámica de sistemas debido a:

- Se tienen múltiples ciclos de realimentación dentro del modelo.
- Se tienen importantes retardos entre la construcción de la planta y su entrada en funcionamiento, y entre la siembra y maduración cultivo.

4.1 Supuestos del modelo

A continuación se presenta el alcance y los supuestos que se tuvieron a la hora de realizar el modelo:

- En la producción de biodiesel solo se tiene como materia prima la palma de aceite.
- Los cultivos y la capacidad de producción de biocombustibles están integrados dentro del modelo, se produce según la limitación de capacidad.

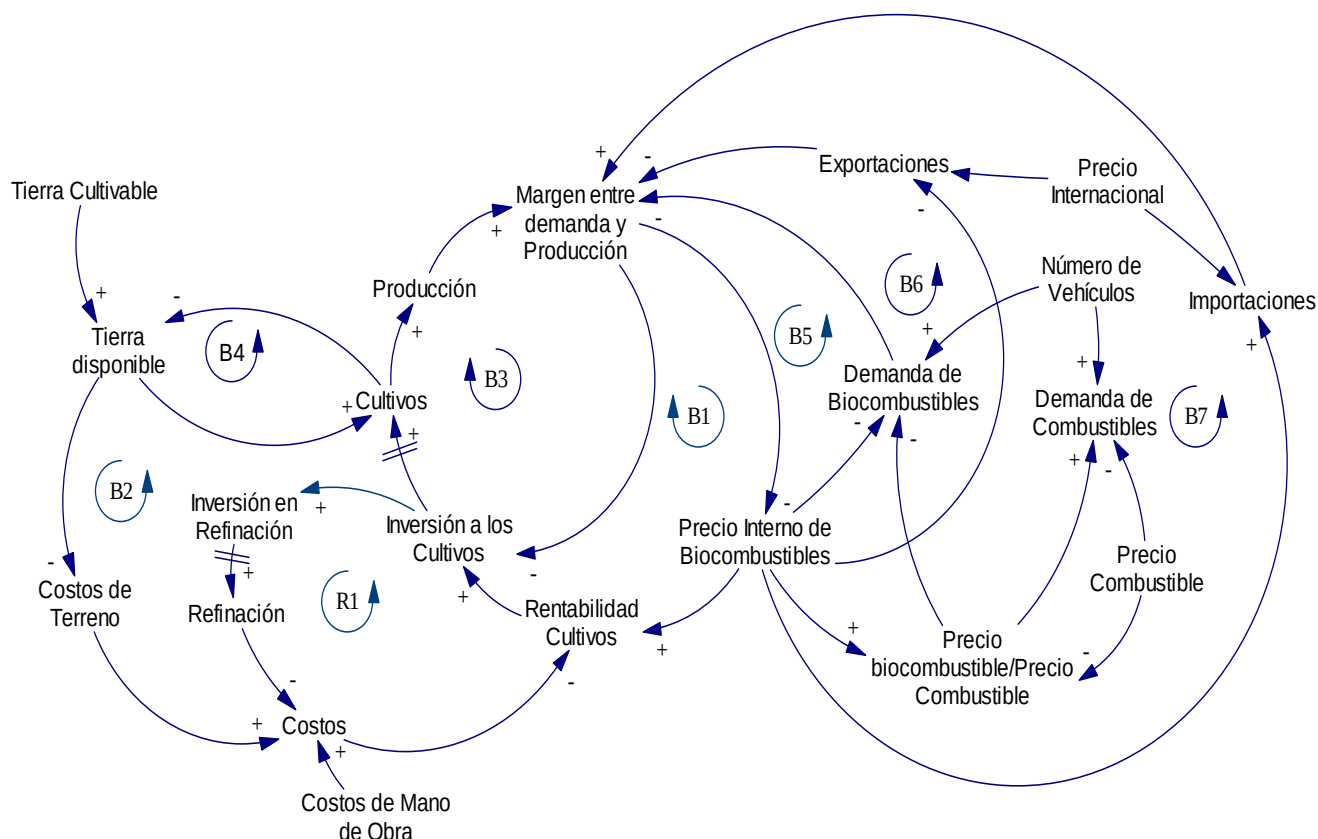


Figura 4. Diagrama Causal del mercado liberalizado. Fuente: Elaboración Propia

cultivos, lo que hace que no se aumente la capacidad de cultivos ni la producción.

El ciclo B5 tiene que ver con la demanda de los Biocombustibles, donde al tener una mayor demanda se disminuye el margen, y al tener un menor margen aumenta el precio de los biocombustibles, lo que hace que al tener un mayor precio se disminuya la demanda de estos.

El ciclo B6 tiene que ver con las exportaciones del biocombustible, estas exportaciones se ven afectadas por el precio interno de los biocombustibles y el precio externo de los biocombustibles, al tener más exportaciones se disminuye el margen, lo que hace que aumente el precio interno de los biocombustibles, al tener un mayor precio de los biocombustibles los productores prefieren exportar y vender en el mercado local.

El ciclo B7 tiene que ver con las importaciones que se hacen y estas dependen del precio internacional y el precio interno de los biocombustibles, al tener un mayor precio interno de los biocombustibles se prefiere importar ya que es más barato, lo que hace que se aumente el margen y disminuya el precio interno, y al disminuir el precio interno se aumentan las exportaciones.

La liberación del mercado de los biocombustibles se espera que traiga consigo una mayor eficiencia en el mercado, que se disminuyan los costos de producción ya que se incentivara la curva de aprendizaje (Lamera, et al, 2008).

4.3 Diagrama de flujos y niveles resumido

En la Figura 5 se puede observar el diagrama de flujos y niveles del mercado del biodiesel agregándole la posibilidad de importar y exportar, se puede observar que para la siembra de nuevas hectáreas y la construcción de nueva capacidad de refinación, se construye de acuerdo a una demanda futura y dependiendo de la rentabilidad del negocio se invierte en nuevas plantas para satisfacer la demanda. Las exportaciones se dan cuando se tienen excedentes en la producción y si es rentable se exporta y se invierte en nuevas plantas para aumentar la capacidad y tener más capacidad para la exportación.

Las importaciones en el modelo solo se dan cuando no se cumple la demanda para alcanzar la demanda propuesta.

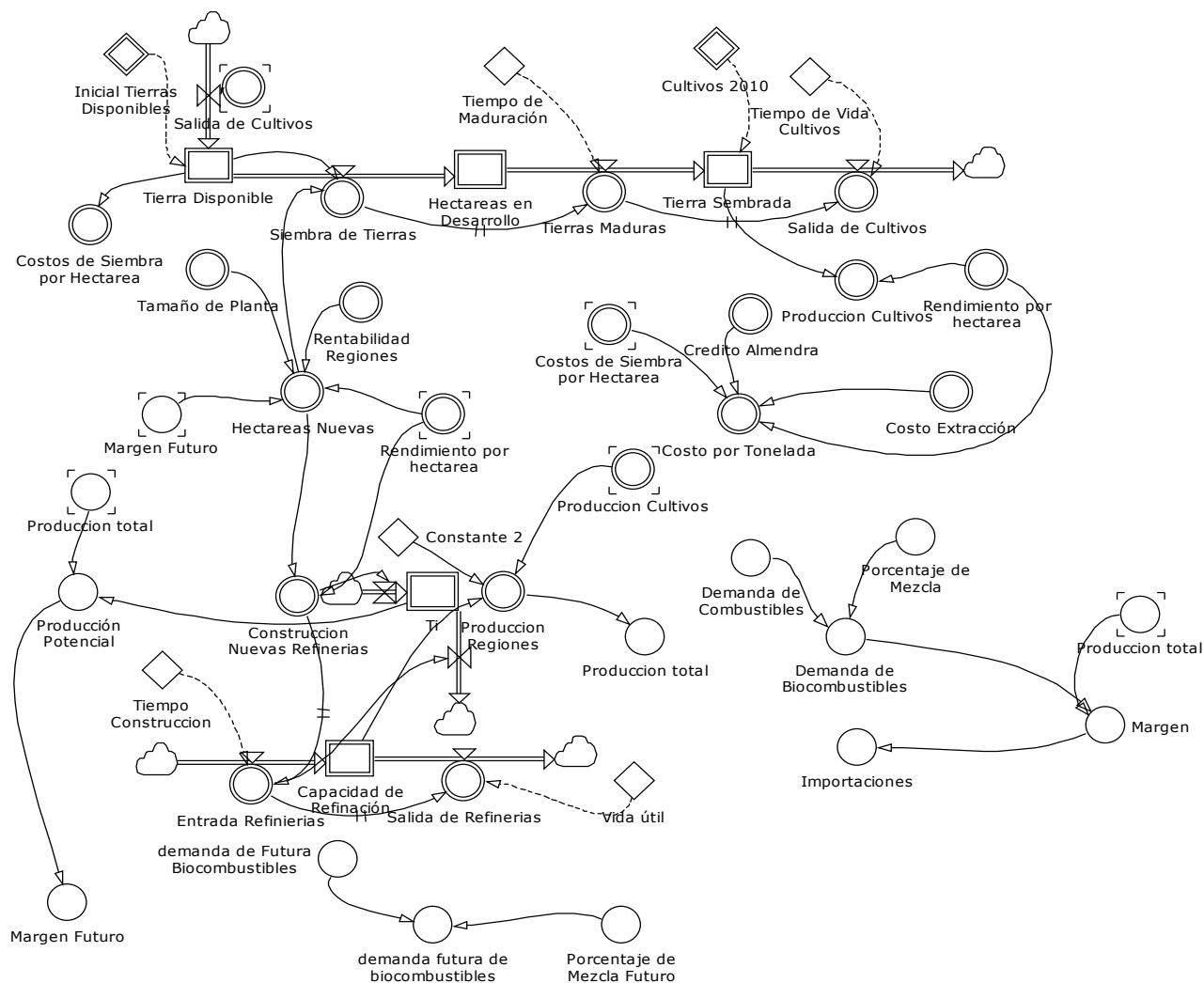


Figura 5 Diagrama de Flujos y Niveles resumido Fuente: Elaboración Propia

5. RESULTADOS

Luego de realizar las corridas el modelo presenta los siguientes resultados previos en el mercado del biodiesel, la simulación del mercado del etanol como un trabajo futuro.

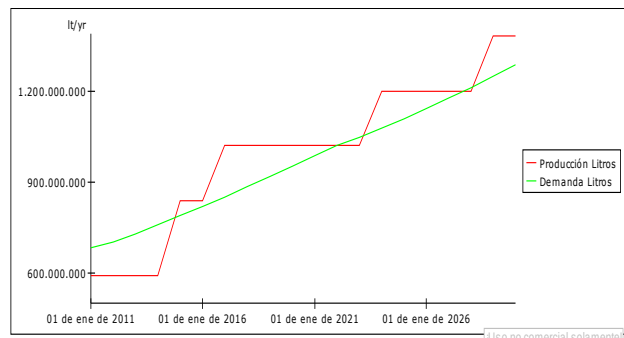
Se proponen cuatro casos para el estudio del mercado del biodiesel en Colombia los cuales se detallan en la **Tabla 4** que se muestra a continuación.

Tabla 4. Casos de simulación con el cambio en las diferentes variables de interés

Caso	Porcentaje de mezcla	Precio Internacional biodiesel	TRM
Caso Base	10%	1000usd/ton	1800
Caso 2	20%	1000 usd/ton	1800
Caso 3	10%	1200 usd/ton	1800
Caso 4	10%	1000 usd/ton	2100

Durante todo el periodo de simulación se mantiene fijo el precio internacional con un valor de 1000 usd/ton (James, 2010).

Para un porcentaje de mezcla de 10% se puede observar en la **Figura 6** como la producción alcanza la demanda durante la mayor del horizonte de simulación.



FiFigura 6: Producción Vs demanda Caso 1 de la simulación

En la **Figura 7** se puede observar las importaciones y las exportaciones, de biodiesel durante el periodo de simulación. Se puede observar que en la mayor parte del periodo de simulación no se importa ya que se cubre la totalidad de la demanda como se observa en la Figura 6 y que no se tienen exportaciones debido a que el negocio no es rentable con la situación actual del mercado

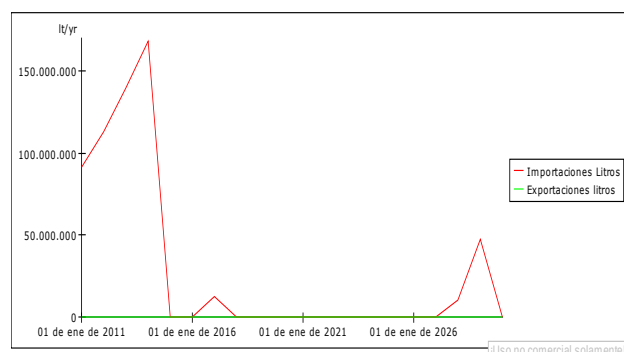


Figura 7 exportaciones e importaciones Caso 1 de simulación.

En la **Figura 8** se puede observar como con un porcentaje de mezcla del 20% se alcanza a cubrir la demanda de biodiesel antes de terminar el periodo de simulación.

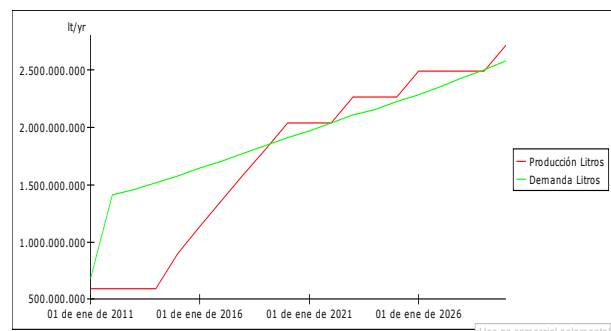


Figura 8 Oferta vs Demanda Caso 2 de las simulaciones.

Tanto en el caso 1 como en el caso 2 no se tienen exportaciones debido a que no se tiene la suficiente rentabilidad para exportar y

como se cumple con la demanda no se importa biodiesel durante la mayor parte del tiempo de simulación.

En la **Figura 9** se observa como es el comportamiento del caso 3 y se da que un gran crecimiento en la industria de los biocombustibles porque se vuelve rentable la exportación lo que hace que se incluyan nuevas plantas.

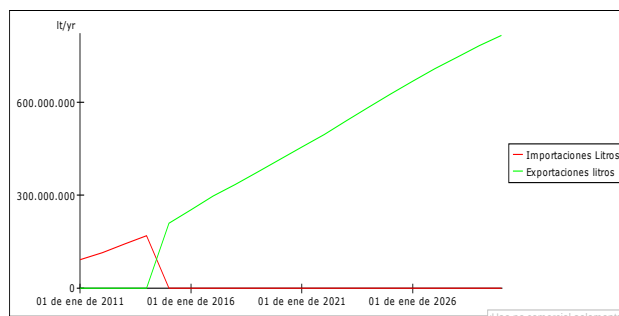


Figura 9 Importaciones vs Exportaciones caso 3.

En la **Figura 10** se observa como el caso 4 en donde la TRM aumenta dando una mayor rentabilidad a la exportación.

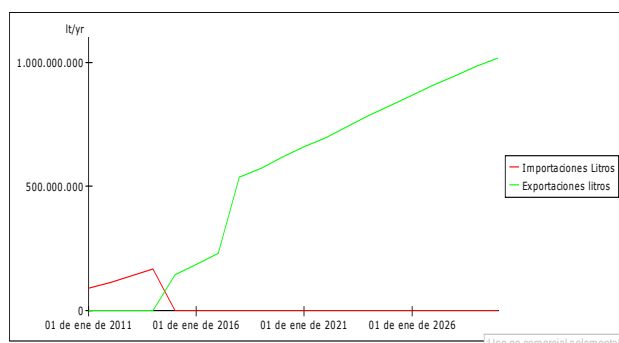


Figura 10 Exportaciones vs Importaciones caso 4.

6. CONCLUSIONES.

Con las condiciones actuales del mercado internacional y los costos que se tienen actualmente en Colombia no es rentable la exportación del biodiesel.

Independiente de la mezcla se observa que se alcanza a cubrir la demanda interna de biodiesel.

Al aumentar el precio internacional del biodiesel se tiene una mayor expansión en el mercado ya que se invierte en nuevas plantas para exportar dándole a la industria un gran crecimiento.

7. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Interconexión Eléctrica S.A- ISA por su apoyo económico para la realización del proyecto.

8. REFERENCIAS

- [1] Bantz, S., & Deaton, M. (2006). Understanding U.S. Biodiesel Industry Growth using System Dynamics Modeling. 2006 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, 156-161. Ieee. doi:10.1109/SIEDS.2006.278731

- [2] Bozbas, K. (2008). Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2), 542-552.
- [3] Bomb, C., McCormick, K., Deurwaarder, E., & Kåberger, T. (2007). Biofuels for transport in Europe: Lessons from Germany and the UK. *Energy Policy*, 35(4), 2256-2267. doi: 10.1016/j.enpol.2006.07.008.
- [4] Coelho, S., Goldemberg, J., Lucon, O., & Guardabassi, P. (2006). Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned[1]. *Energy for Sustainable Development*, 10(2), 26-39. International Energy Initiative, Inc. doi: 10.1016/S0973-0826(08)60529-3.
- [5] Congreso de la República, Ley 693 de 2001.
- [6] Congreso de la República, Ley 788 de 2002.
- [7] Congreso de la República, Ley 939 de 2004.
- [8] Demirbas, A. (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied Energy*, 86, S108-S117. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.04.036.
- [9] EIA. Renewable Energy Explained. [En línea] 1 de octubre de 2010. En línea http://tonto.eia.doe.gov/energyexplained/index.cfm?page=renewable_home.
- [10] Escobar, José C., y otros. Biofuels: Environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [11] Fedebiocombustibles, Plantas de Biodiesel y Etanol en Colombia en Línea: www.fedebiocombustibles.com
- [12] Fedepalma, Municipios Palmeros en línea www.fedepalma.org
- [13] Félix, Erika; Cardona, Carlos y Quintero, Julián. FAO
- [14] Garcez, C. A. G., & Vianna, J. N. D. S. (2009). Brazilian Biodiesel Policy: Social and environmental considerations of sustainability. *Energy*, 34(5), 645-654.
- [15] Hira, A., & Oliveira, L. G. de. (2009). No substitute for oil? How Brazil developed its ethanol industry☆. *Energy Policy*, 37(6), 2450-2456.
- [16] Hoekman, S. (2009). Biofuels in the U.S. – Challenges and Opportunities. *Renewable Energy*, 34(1), 14-22. doi: 10.1016/j.renene.2008.04.030
- [17] James, Biodiesel el potencial Argentino, Informe Especial Cader, 2010.
- [18] InfantE, A. Implicaciones de las políticas públicas sobre biocombustibles en la seguridad alimentaria de países seleccionados de América Latina.
- [19] Lamers, P., McCormick, K., & Hilbert, J. A. (2008). The emerging liquid biofuel market in Argentina: Implications for domestic demand and international trade. *Energy Policy*, 36(4), 1479-1490.
- [20] Myint, lay l. y el-halwagi, Mahmoud M. Process analysis and optimization of biodiesel production from soybean oil. *Clean Technologies Environmental Policy*
- [21] Musango, J.K. Based, R., Development, S., Resources, N., Africa, S., Futures, S. E., Resources, N., Africa, S., et al. (n.d.). Understanding the implication of investing in biodiesel production in South Africa: a system dynamics approach *Industrial Research*, 1-21.
- [22] Pousa, G. P. a G., Santos, A. L. F., & Suarez, P. a Z. (2007). History and policy of biodiesel in Brazil. *Energy Policy*, 35(11), 5393-5398.
- [23] Sorda, G., Banse, M., & Kemfert, C. (2010). An overview of biofuel policies across the world. *Energy Policy*, 38(11), 6977-6988.
- [24] Srinivasan, S. (2009). The food v. fuel debate: A nuanced view of incentive structures. *Renewable Energy*, 34(4), 950-954.
- [25] Szklo, A., Schaeffer, R., & Delgado, F. (2007). Can one say ethanol is a real threat to gasoline? *Energy Policy*, 35(11), 5411-5421
- [26] Tyner, W. E., Taheripour, F., & Perkis, D. (2010). Comparison of fixed versus variable biofuels incentives. *Energy Policy*, 38(10), 5530-5540.
- [27] Turcksin, L., Macharis, C., Lebeau, K., Boureima, F., Van Mierlo, J., Bram, S., et al. (2011). A multi-actor multi-criteria framework to assess the stakeholder support for different biofuel options: The case of Belgium. *Energy Policy*, 39(1), 200-214.
- [28] Wiesenthal, T., Leduc, G., Christidis, P., Schade, B., Pelkmans, L., Govaerts, L., et al. (2009). Biofuel support policies in Europe: Lessons learnt for the long way ahead. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4), 789-800.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo de Competencia de un duopolio aplicando dinámica de sistemas. Duopoly competition model using system dynamics.

Eduyn Ramiro López Santana

Universidad Distrital Francisco

José de Caldas

Bogotá D.C.

(571) 7641882

erlopezs@udistrital.edu.co

Germán Andrés Méndez Giraldo

Universidad Distrital Francisco

José de Caldas

Bogotá D.C.

(571) 3239300

gmendez@udistrital.edu.co

RESUMEN

En un mercado en el cual sólo dos productores participan generando bienes idénticos a costos idénticos, la competencia se da en términos de las variables estratégicas y su dinámica. En algunos casos las variables pueden ser las cantidades de producción (duopolio de Cournot) o los precios (caso de Bertrand), sin embargo existen otras variables que influyen en la decisión de compra de los consumidores como lo son el tiempo de entrega, el cumplimiento de la cantidad entregada, y la calidad, los cuales son conocidos como función o nivel de servicio. En este artículo se presenta un modelo de un juego entre dos empresas que pueden variar sus niveles de precios, cumplimiento en la cantidad entregada, tiempo de entrega, y calidad, las cuales influyen en la demanda para ambos actores, y en los costos y utilidades. Se desarrolla un juego de simulación en el que los actores pueden fijar sus estrategias con el fin de determinar que acciones tomar para maximizar su utilidad y su participación en el mercado. Este trabajo permite evidenciar el uso de herramientas de modelación aplicadas que permitirán por medio de juegos virtuales incrementar las competencias de los decisores en diferentes ámbitos.

Palabras Clave

Duopolio, dinámica de sistemas, función de servicio, toma de decisiones.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

ABSTRACT

In a market that producers participate in producing two identical goods cost identical the competition is in terms of the strategic variables and dynamics. In some cases The variables may be the production amounts (Cournot duopoly) or prices (Bertrand case), but there are other variables that affect the purchase decision of consumers such as delivery time, compliance of the quantity supplied, and quality, which are named as a function service or service level. This paper show a game model between two companies, which can change their price levels, compliance with the quantity delivered, delivery time and quality, them affect the demand, costs and profit for both. The game is built using simulation in which players can set their strategies in order to identify actions to take for maximizing their profit and market share. This study enables the confirmation the applied modeling tools for a situation, such a virtual games. These models search increase skills of decision makers in different areas.

Keywords

Duopoly, System dynamics, service function, decision making.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo muestra la aplicación de la dinámica de sistemas a un modelo de competencia de duopolio, en el cual se muestra la dinámica entre las decisiones estratégicas tomadas por cada uno de los competidores, y sus repercusiones en el tiempo. Este tipo de dinámicas se ha analizado por medio de la teoría de juegos, en la cual se plantan juegos de suma cero o no cooperativos en busca de un equilibrio en las decisiones tomadas. La simulación es un enfoque que se puede aplicar a esta situación dada la dinámica entre las variables y su repercusión en el tiempo; para esto la dinámica de sistemas se convierte en una alternativa aplicable para la modelación de esta situación, ya que posee características tales como ser un enfoque integral y dinámico, porque considera

el sistema de manera holística, además se basa en el tiempo y los flujos de realimentación que se presentan a través de este.

Para la aproximación planteada en este artículo se tomaron algunas variables estratégicas como: niveles de precios, cumplimiento en la cantidad entregada, tiempo de entrega, y calidad, las cuales influyen en la demanda para ambos actores, y en los costos y utilidades. El modelo se basa en el desarrollo de un juego de simulación en el que los actores pueden aplicar diferentes decisiones y fijar sus estrategias en busca de un objetivo, que puede ser maximizar su utilidad y su participación en el mercado.

Por otro parte, este trabajo permite mostrar el uso de la simulación por medio de juegos virtuales, con el objetivo de crear espacios para la experimentación mediante un sistema que busca mejorar las competencias de los analistas en diferentes ámbitos, que nos otra cosa que generar competencias para la toma de decisiones.

Este artículo está constituido por 9 apartados incluyendo esta introducción. El apartado 2 muestra el marco referencial del problema abarcando las generalidades sobre los duopolios y sus tipos, el modelamiento sistémico, y los antecedentes de modelamiento de este problema. En el apartado 3 se presenta la metodología de modelación seguida para la construcción de este modelo. Los apartados 4, 5 y 6 muestran la aplicación de la metodología iniciando con la descripción del sistema, el modelo causal y el modelo de simulación, respectivamente. En el apartado 7 se presenta las experimentaciones realizadas y el juego planteado en este modelo. Se finaliza con los apartados 8 y 9, en donde se presentan las conclusiones y referencias del presente trabajo.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Generalidades sobre los Duopolios

El duopolio es definido como una industria en la cual sólo hay dos empresas productoras de un bien [8]. En el duopolio como tal sólo existen dos productores de un bien, un cambio en el precio o la producción de un oferente afectará la del otro, y las reacciones del segundo a su vez influirán en el primero. Por lo tanto, cada productor se da cuenta de que un cambio de su precio o nivel de producción dará lugar a una cadena de reacciones, lo cual lo obligará a hacer suposiciones acerca de cómo actuará el otro vendedor frente a un cambio de su política. Es esta la característica esencial de la teoría del duopolio, en la cual ninguno de los productores puede ignorar las reacciones del otro, ya que ambos quedan ligados en una situación de interdependencia [4].

2.1.1 Tipos de duopolio

Existen los siguientes tipos de modelo de duopolio:

- o Modelo de duopolio de Cournot, se basa en que cada una de las empresas considera fijo el nivel de producción de su competidora, decidiendo entonces la cantidad que va a producir. En este modelo cada duopolista produce una cantidad que maximiza sus beneficios en función de lo que produce su competidora, por lo que ninguno de los duopolistas tiene incentivos para alterar su nivel de producción [5].
- o Modelo de duopolio de Bertrand, este modelo plantea que las empresas no compiten en producción sino en precio, siendo esta la variable estratégica que se debe tener en cuenta [3]. La estrategia adecuada en este modelo es fijar el precio levemente por debajo del precio del otro duopolista. Sin embargo el otro duopolista tendrá la misma estrategia, obteniendo como resultado que ambos bajaran su precio hasta que sea igual al costo marginal [10].
- o Modelo de duopolio de Stackelberg, consiste en que una empresa dominante (o líder) decide primero la cantidad a producir, y una empresa subordinada (o seguidora) observa la cantidad producida por el líder y decide en segundo lugar. Para este modelo, el juego es de decisiones sucesivas en vez de simultáneas, como es el caso de los juegos de Cournot y Bertrand [7]. En este modelo se pueden llegar a distintas soluciones [10]:
 - Si la empresa líder quiere ser líder y la seguidora quiere ser seguidora, se llega al equilibrio según el modelo de Stackelberg.
 - Si las dos empresas quieren ser seguidoras, la solución es el modelo de Cournot.
 - Si las dos empresas quieren ser líderes, porque de esta forma obtienen mayores beneficios, ninguna estará sobre su función de reacción ni maximizando beneficios. Puede ocurrir que una empresa termine sometiendo a otra, o si ambas son muy poderosas podrían hacer un pacto y funcionar como un monopolio.

2.2 Modelamiento sistémico

El pensamiento sistémico tiene sus orígenes en Peter Senge, el cual la concibe como la quinta disciplina de las organizaciones inteligentes. El pensamiento sistémico abarca una amplia y heterogénea variedad de métodos, herramientas y principios, todos orientados a examinar la interrelación de fuerzas que forman parte de un proceso común, [1].

El pensamiento sistémico es un marco conceptual, un cuerpo de conocimientos y herramientas que se han desarrollado para que los patrones totales resulten más claros y se puedan modificar. Según Álvarez y Alonso [1], el pensamiento sistémico es una disciplina para ver totalidades, para ver las estructuras que subyacen a las situaciones complejas.

El modelado sistémico consiste en un enfoque para la solución de problemas, se fundamenta en el pensamiento sistémico, originario de las áreas técnicas (administración) pero que gana cada vez mayor aceptación en todos los ámbitos, como el social, económico, ambiental, etc. El pensamiento sistémico se define como un marco conceptual, un cuerpo de conocimientos y herramientas que se ha desarrollado para que los patrones totales resulten más claros, y para ayudarnos a modificarlos; esto significa que uno de los objetivos del pensamiento sistémico es la representación de los sistemas (entendimiento) y su modificación. El pensamiento sistémico se basa en la percepción del mundo real como un sistema en el que interactúan diversos subsistemas, los cuales a su vez se componen de elementos (también sistemas).

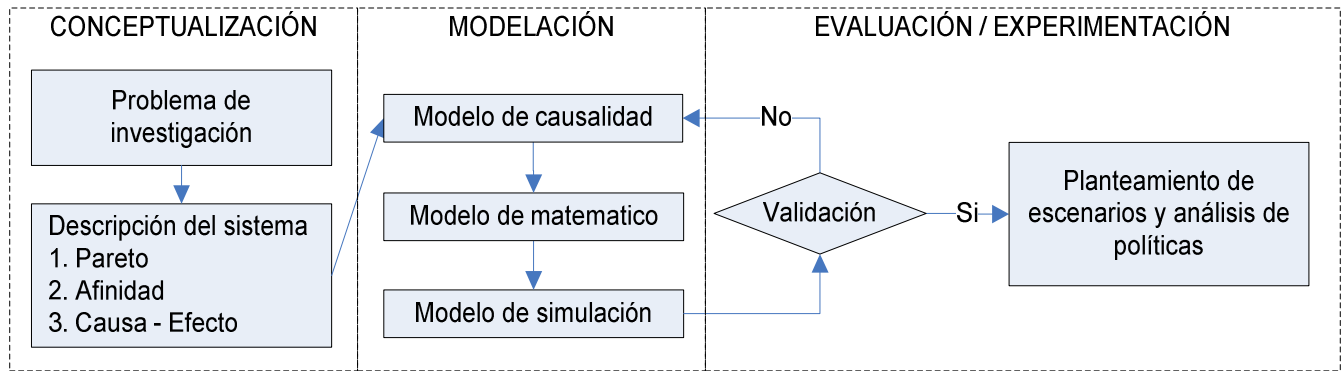


Figura 1. Metodología de Modelación. (Fuente: Autores).

Los modelos de simulación son una técnica de representación de sistemas, se definen como: "el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos- para el funcionamiento del sistema" [14].

Para el modelamiento sistémico se emplea una técnica de simulación continua como la Dinámica de Sistemas, la cual es utilizada para representar los sistemas con flujos de retroalimentación. El gran potencial de la dinámica de sistemas se encuentra en que se trata de un modelamiento dinámico, es decir, que se centra en el tiempo, permitiendo observar que consecuencias pueden producirse a corto, medio y largo plazo de las decisiones adoptadas. De esta manera, la dinámica de sistemas representa una técnica de modelación adecuada para incorporar los fenómenos asociados al tiempo, tales como las demoras, la amplificación, la distorsión, etc.

Son tres los principios o pilares fundamentales sobre los que se apoya la dinámica de sistemas. Estos son:

- Existencia de bucles de realimentación.
- Existencia de no linealidad en las relaciones entre variables.
- Existencia de retrasos en las relaciones entre variables

2.3 Antecedentes de modelación

La modelación de los duopolios se ha utilizado para analizar los oligopolios en microeconomía, buscando representar el funcionamiento de las empresas y la manera en que compiten entre sí. Puede servir para representar la competencia entre empresas privadas, entre grupos de empresas que compiten en un mercado, y también para representar la gestión pública frente a la privada.

Los primeros modelos de duopolios fueron los desarrollados por Cournot en 1838, seguido de Bertrand en 1883, y este a su vez seguido de Stackelberg en 1934, [10]. Estos modelos son representados utilizando la Teoría de Juegos y pueden tener diferentes clasificaciones, tales como ser juegos finitos o infinitos, juegos de información perfecta e imperfecta, juegos estáticos y dinámicos, y de suma cero.

García [6] desarrollo un modelo de simulación aplicando dinámica de sistemas al mercado mayorista de generación eléctrica en España, con el objetivo de determinar qué estrategias siguen los generadores en el mismo, los resultados muestran la fijación de unos precios superiores a los costes marginales como consecuencia del ejercicio de poder de mercado por parte de las principales compañías.

Otro trabajo que muestra la aplicación de la Simulación y Teoría de Juegos es el desarrollado por Rojas [12] llamado Bolsa de energía en el SING – Simulación vía teoría de juegos, en el cual se aplica los principios del oligopolio de Cournot y además se desarrollan unas estrategias para los participantes en el juego.

De esta manera se observa que la simulación se ha convertido en un enfoque bastante aceptado en el ámbito de la investigación y aplicación al modelamiento de este tipo de situaciones, en donde su carácter dinámico e integral permite representar de manera holística este tipo de competencias.

3. METODOLOGIA DE MODELACIÓN

Un modelo es un sustituto de un objeto o de un sistema, y se puede definir como la representación simplificada o la abstracción en algún grado o medida de un objeto o sistema real [9], permitiendo describir el comportamiento de sistemas, postular hipótesis o teorías que expliquen el comportamiento observado, usar teorías para predecir un comportamiento futuro; constituyen una ayuda para el pensamiento, el aprendizaje, la comunicación, el entrenamiento, entre otras.

La metodología empleada se basa en el desarrollo de modelos con dinámica de sistemas, y presenta tres fases, conceptualización, modelación, y evaluación, [2]. La metodología seguida para el desarrollo de este trabajo se muestra en la **Figura 1**. A continuación se describen cada una de las fases de esta metodología:

- 1) La conceptualización se refiere a la descripción del sistema real, identificando las variables y sus relaciones causales, y plasmándolas en un diagrama de causalidad. A partir del conocimiento previo que se tenga de estructuras simples de comportamiento de sistemas dinámicos, se trata de particularizar el comportamiento dinámico del sistema bajo estudio utilizando las estructuras más simples que puedan generar este comportamiento. De esa manera y de una forma progresiva se van identificando los distintos elementos que

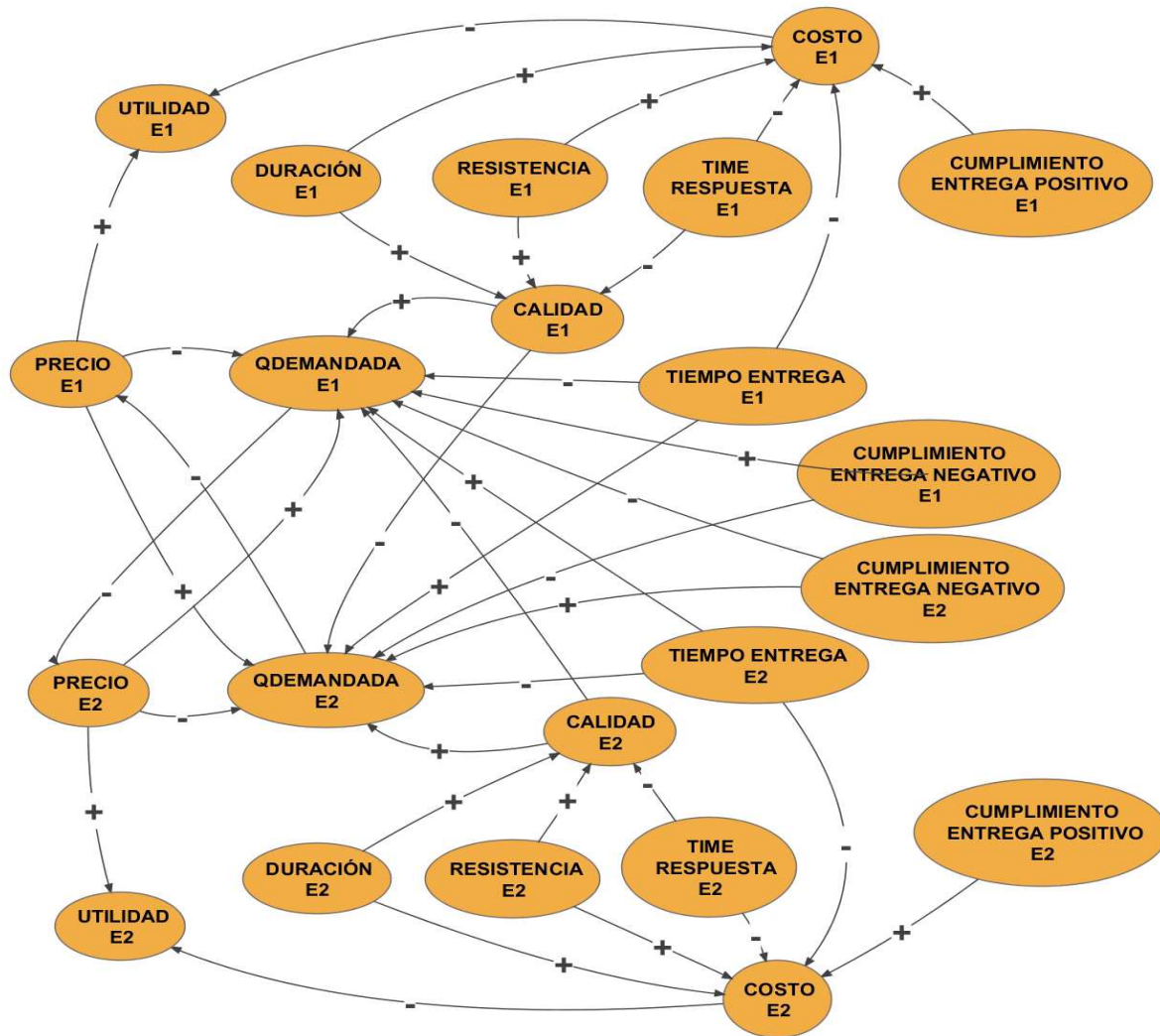


Figura 2. Modelo Causal Duopolio (Actor 1= E1; Actor 2= E2). (Fuente: Autores).

formaran el sistema, lo que conduce de modo natural al establecimiento de los límites del sistema, y a una descripción primaria de los bucles de realimentación

- 2) La etapa de modelación se refiere a la elaboración del modelo de simulación basado en los principios de Forrester y al establecimiento de los parámetros necesarios. Para esta etapa es necesario aplicar técnicas como métodos de regresión para la estimación de los diferentes multiplicadores, también se utilizan otro tipo de modelos con los cuales se puedan estimar las relaciones entre las variables, como por ejemplo reglas de decisión, operaciones lógicas, entre otros. Esta fase concluye cuando se dispone de un modelo del sistema bajo estudio, en forma de ecuaciones programadas susceptibles de ser procesadas por un computador. Este modelo fue desarrollado en el software Ithink.
- 3) La última etapa de experimentación corresponde a la etapa de análisis y evaluación de estrategias sobre el sistema, la cual se realiza con el fin de determinar los patrones de

comportamiento. En esta etapa se plantea la validación del modelo mediante el análisis de escenarios, en el cual se plantean diferentes situaciones que permiten medir la sensibilidad de los parámetros y corroborar las relaciones causales determinadas. Por otro lado la experimentación en los modelos de simulación se basa en el planteamiento de unas acciones (políticas) con el fin de evaluar el modelo con un objetivo determinado, como pronosticar, planear, identificar oportunidades de mejora, entre otras.

4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema consiste en un duopolio dinámico en el cual las decisiones no se toman en forma simultánea sino secuencial, (basado en el duopolio de Stackelberg [7]). Éste consiste en dos empresas, las cuales deciden competir por una cantidad de mercado dado por la función de demanda de los consumidores. En este tipo de competencia las dos empresas son líderes del mercado y comparten un mismo producto; una de ellas (se denomina "líder") quien tomara una decisión anticipada respecto a unas

variables estratégicas, y la otra empresa que decide después, es la que juega en segundo término y se conoce como “seguidora” de acuerdo a la decisión del líder. Un ejemplo de este tipo de competencia se evidenció en el mercado de automóviles donde General Motors vendría a ser la empresa líder, y Ford y Chrysler las seguidoras. Este es un modelo de fácil y generalizada aplicación para muchas empresas, sin embargo existen dos modelos en los cuales la decisión es tomada de manera simultánea como es el caso de los duopolios de Bertrand y Cournot [11].

Para este caso se define un sistema de duopolio donde existen dos actores (empresas) que producen un bien de consumo, y se puede representar como un juego entre dos competidores considerando que:

- o La demanda está en función de cuatro variables estratégicas: precio, tiempo de entrega, cumplimiento de la cantidad entregada, y calidad del producto, esta última caracterizada por tres variables principales: la duración, la resistencia y el tiempo de respuesta. Estas son las variables que las dos empresas podrán cambiar de manera independiente y de acuerdo a la dinámica establecida.
- o Se considera que cada una de estas cuatro variables son igualmente representativas para el usuario (función de servicio), y por tanto su impacto en la demanda de cada actor será una ponderación de cada una.
- o Se supone que las empresas son idénticas en la actualidad, es decir tienen el mismo mercado (50% cada una), el mismo precio, el mismo nivel de calidad, el mismo tiempo de entrega, y el mismo cumplimiento en la cantidad entregada y solicitada. Por tanto se determinaran los cambios originados de las decisiones tomadas como porcentajes de variación de sus valores.
- o El juego es de dos etapas y se considera al actor 1 como

“líder”, es decir el actúa en la primera etapa, y espera o puede mantener su cambio para la segunda; mientras que el actor 2 es el “seguidor”, el cual actúa en la segunda etapa como respuesta al primer actor. También se plantea la opción de que el actor 2 puede actuar de manera independiente en la primera etapa, lo cual mostraría decisiones simultáneas en el modelo.

- o Para el modelo de simulación el actor 1 será el usuario, y el actor 2 la máquina.

5. MODELO CAUSAL

El diagrama de causalidad que representa el comportamiento y las acciones de los actores del juego se presenta en la **Figura 2**, en esté se observa como la demanda (llamada QDEMANDADA) para cada uno de los jugadores es afectada de manera negativa por el precio y el tiempo de entrega, es decir, a un aumento del precio del bien la demanda disminuirá, y a una disminución del precio la demanda aumentará, esperando que el otro actor mantenga su precio constante, el mismo comportamiento se presenta con el tiempo de entrega. Cuando el otro actor 2 (o 1) varía su precio o su tiempo de entrega, su efecto es positivo sobre la demanda del actor 1 (o 2), de tal manera que cuando se realizan cambios idénticos simultáneos la demanda no variara.

La demanda se ve afectada de manera positiva por las variables calidad, y cumplimiento en la cantidad entregada. Un aumento en la calidad ocasionará que la demanda del bien suba, y si la percepción de calidad disminuye la demanda del bien baja. En el caso del cumplimiento de la cantidad entregada, si esta sube no se tendrá efecto sobre la demanda, pero si esta baja la demanda también bajara. Al igual que en las variables anteriores se espera que el otro actor mantenga sus variables constantes, y a cambios idénticos de ambos actores las demandas se mantendrán iguales.

La calidad del bien producido por cada una de las empresas se ve

Tabla 1. Datos de variación de la demanda y variables estratégicas.

% Crecimiento de la Demanda	% Crecimiento Precio	% Aumento Tiempo entrega	% Cumplimiento Cantidad entrega	% Aumento percepción calidad		
				Duración	Resistencia	T. Respuesta
25	-12,75	-20	-	15	12	-12
20	-10	-15	-	12	10	-8
15	-7,5	-12	-	10	8	-6
10	-5	-8	-	8	6	-4
5	-2,5	-4	-	4	4	-2
0	0	0	0	0	0	0
-5	2,5	10	-5	-5	-2	2
-10	5	20	-8	-10	-5	5
-15	7,5	25	-10	-15	-8	10
-20	10	30	-12	-20	-10	12
-25	12,5	40	-15	-25	-12	18

afectado positivamente por la duración y la resistencia, cuando éstas aumentan se aumenta la percepción de la calidad, y al disminuir alguna se reduce la calidad. El tiempo de respuesta

influye de manera negativa sobre la calidad, al aumentar éste se disminuye la percepción de la calidad, y al disminuirse se aumenta la calidad.

Por otro lado los costos se aumentan cuando se aumenta la duración, la resistencia y la cantidad entregada, y al disminuir el tiempo de entrega y el tiempo de respuesta. La utilidad aumenta al aumentar el precio, y se disminuye al disminuir el precio o al aumentar los costos.

Para este sistema de duopolio se evidencia la existencia de unos ciclos compensadores entre el precio de uno de los actores y la demanda del otro actor, estos ciclos son los que crean la dinámica entre las decisiones tomadas por cada uno de los actores en el tiempo.

6. MODELO DE SIMULACIÓN

En las **tablas 1 y 2** se muestran unos datos para una empresa y sus variables estratégicas de acuerdo a las relaciones establecidas en el modelo causal. Para este modelo se supone que se produce un cambio a la vez para causar el aumento del costo, si se tiene un Costo C y un Precio de Venta P, la utilidad marginal se representa por (1).

$$U=P-C, \quad (1)$$

Se supone una utilidad marginal actual del 35% para cada uno de los actores.

Para determinar las relaciones entre las variables mencionadas y la demanda y el costo se suponen relaciones lineales, y por tanto su valor se determinó por medio del método de regresión lineal simple. Para la demanda como variable dependiente de cada una de las cuatro variables por separado (variables independientes) se obtuvieron los resultados de la **Tabla 3**. Para el costo se realizó el mismo procedimiento utilizando regresión lineal simple con las variables tiempo de entrega, cumplimiento de la cantidad entregada, y calidad del producto, esta última subdividida en duración, resistencia y tiempo de respuesta, los resultados se presentan en la **Tabla 4**.

Teniendo en cuenta que actualmente las dos empresas son iguales y por tanto los valores de precio y costo son iguales, así como los niveles de calidad, tiempos de entrega, y la cantidad entregada, se considera que no hay variaciones en el pasado. Los cálculos de las variaciones en la demanda y en el costo sólo se basan en las variaciones porcentuales de cada variable ponderándolas adecuadamente. Los cambios realizados en las variables sólo afectan el período de planeación, es decir su efecto no se multiplicara en el tiempo. Se supone que los cambios presentados en la demanda por acción de las variables descritas son en un período, el cual puede ser de un mes, de dos o de tres, dependiendo de la naturaleza del producto, ya que en la realidad los cambios se dan paulatinamente en el tiempo; para este modelo se considera el “período” como ese tiempo necesario para observar el cambio dada la estrategia escogida.

El dt o paso de simulación es considerado de 1 período, esto para garantizar las jugadas realizadas por las dos empresas. Para la interacción con el usuario se elaboró un panel de entrada de datos en la interface, el cual permite variar los datos cada vez que el

Tabla 2. Datos de variación de la calidad.

% Aumento del costo	% Disminución Tiempo entrega	% Aumento Cantidad entrega	% Aumento Duración	% Aumento Resistencia	% Disminución T. Respuesta
10	1	1	1	1	-1
15	5	2	5	3	-3
20	10	5	10	5	-5
25	15	7	12	8	-8
35	20	10	15	10	-10

Tabla 3 Coeficientes impacto en la demanda.

Aumento Demanda		
Variable		Factor
% Crecimiento Precio		-1,99081164
% Aumento Tiempo entrega		-0,73871256
% Cumplimiento Cantidad entrega		1,55913978
% Aumento percepción calidad	Duración	1,16424116
	Resistencia	1,97991392
	T. Respuesta	-1,74216028

Tabla 4 Coeficientes impacto en el Costo

Aumento en Costo	
Variable	Factor
% Disminución Tiempo entrega	1,81091877
% Aumento Cantidad entrega	3,7150838
% Aumento Duración	2,24242424
% Aumento Resistencia	3,54271357
% Disminución T. Respuesta	-3,54271357

Tabla 5. Escenarios Planteados para la validación.

Escenario	Estrategias.
Actor 1 cambia variables, Actor 2 como seguidor: para estos escenarios se consideran los cambios para cada variable por parte del actor 1 en la etapa 1 de la jugada, en condiciones de <i>ceteris paribus</i> para las demás, mientras que el actor 2 responde de la misma manera que el actor 1 en la segunda etapa de la jugada, se realizaron 10 jugadas seguidas. Estos se realizaron con el modulo de análisis de sensibilidad según los rangos posibles de cada variable.	a) Cambios en el precio b) Cambios en la cantidad entregada. c) Cambios en el tiempo de entrega. d) Cambios en la calidad.
Actor 1 cambia variables, Actor 2 no realiza ningún cambio: para estos escenarios el actor 1 realiza sus cambios en una variable en la etapa 1 de la jugada, en condiciones de <i>ceteris paribus</i> para las demás, mientras que el actor 2 no responde a ningún cambio, se realizaron 10 jugadas seguidas. Las variaciones terminan teniendo el efecto mostrado en el modelo causal omitiendo las influencias del actor 2.	i. Duración. ii. Resistencia. iii. Tiempo de respuesta.

juego pause, es decir intervengan los dos actores.

A continuación se describe cada una de las variables de entrada en el modelo, el número identifica el actor 1 o 2.

- 1) Demanda: NQ1 y NQ2, para cada uno de los actores con un nivel de 50 cada una, el cual representa el 50% de mercado, como condición la suma de las dos no debe pasar de 100%.
- 2) Precio: NP1 y NP2, para cada actor es de 100%, ya que son iguales, se trabajara con ese valor, para observar sus variaciones (aumentos y disminuciones) porcentuales en el tiempo.
- 3) Costos: NCosto1 y Ncosto2, el cual es de 65%, para garantizar el nivel de utilidad del 35%.
- 4) Utilidades: NUTIL1 y NUTIL2, es la diferencia entre el precio y el costo de cada empresa, su valor inicial es 35%.
- 5) Cumplimiento en la cantidad entregada: NCE1 y NCE2, el cual tiene un valor de 100%.
- 6) Tiempos de entrega: NTE1 y NTE2, el cual tiene un valor de 100%.
- 7) Calidad: NCal1 y NCal2, el cual tiene un valor del 100%, esta considera de manera agregada las tres variables principales, duración, resistencia y tiempo de respuesta. Estas no son mostradas de manera individual, ya que sólo interesan las variaciones.

Como condición inicial se considera que no hay variaciones hechas en el pasado, los cálculos de las variaciones en la demanda y en el costo sólo se basan en las variaciones porcentuales de cada variable ponderándolas adecuadamente.

7. EXPERIMENTACIÓN

7.1 Revisión del Modelo

Para la revisión del modelo se realizaron pruebas para observar que cumpliera con las condiciones de variación de la demanda y con las respuestas esperadas por las empresas en el desarrollo del juego. Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- 1) Se corrió el modelo sin realizar ninguna variación (cambio en las variables) para determinar que no se modificarán las condiciones iniciales del modelo. Para este caso se desactivan las ecuaciones y el Ctime (control del tiempo) se hace igual a 1. Para esta prueba el modelo corrió de manera adecuada conservando las condiciones iniciales.

Al cambiar los pesos de las variables en 1, y hacer distintos cambios de las variables por aparte se encontraban muy aproximados a los valores de las **Tablas 1 y 2** de datos de las variaciones. De esta forma se pudo comprobar que los parámetros están bien asignados y muestran el comportamiento deseado.

- 2) Al realizar cambios iguales en las variables para cada actor, se sigue conservando la misma proporción de demanda, y varían la utilidad y los costos, dependiendo de los cambios realizados.
- 3) Para el caso en el que el juego es de 2 etapas, se tiene que el actor 1 (analista) es el primero en actuar, y el actor 2 puede actuar independientemente o mantener su estado igual pensando que el actor 1 no hizo nada y en la segunda etapa responde al juego. Cuando ambos responden independientemente se utiliza el Ctime de 1 (por ejemplo el juego anterior), para el caso de que el actor 1 juegue primero, se mantienen constantes las variables, en la etapa 2 donde el actor 2 prefiere seguirlo se considera el Ctime igual a 2.

Se pudo observar que las estrategias seguidas por actores conservan las condiciones del oligopolio. También se observó como el juego conserva las condiciones entre las variables expresadas en el causal y las dadas por las ecuaciones.

Además de estos ensayos de revisión se realizaron pruebas con cada parámetro observando que se cumplían los valores esperados y las decisiones programadas, como las respuestas del jugador 2. Se destaca que es posible combinar los dos juegos, dos etapas y una etapa, variando el valor del Ctime, y las decisiones del jugador 1 dependen del juicio del analista o de la estrategia establecida, mientras que la respuesta del jugador 2 puede ser de seguidor, o de manera independiente según la que se establezca. De esta forma el modelo de simulación permite la interacción con el usuario como si fuera un juego real, además se considera que el

jugador 1 es el “líder” o el que primero realiza los cambios y el jugador 2 es el “seguidor”.

7.2 Análisis de Escenarios

Los escenarios dependen de las estrategias planteadas por cada jugador, y de la respuesta de estos. De esta manera se plantean unos posibles escenarios basados en la respuesta que puede dar el actor 2 a las variaciones del actor 1. Los escenarios planteados en el análisis de sensibilidad se muestran en la **Tabla 5**.

7.3 Juego planteado

Se plantearon unas estrategias para el jugador 1 y se desarrolló un juego en el cual el actor 2 tiene la opción de responder de la misma manera, no responder, o anticiparse. Este es un juego que se puede presentar, sin embargo existen muchas combinaciones de estrategias para cambios en las variables, lo interesante es ver cuál es la mejor respuesta por parte del jugador 2, y de estas cual sería la óptima para el jugador 1, en otras palabras tratar de encontrar equilibrios en el juego. El actor 1 realiza sus cambios pensando que el actor 2 permanecerá constante. Las respuestas del actor 2

son las siguientes:

- El jugador 2 responde de la misma manera un período después.
- El jugador 2 no realiza ningún cambio.
- El jugador 2 se anticipa a los cambios.

Las jugadas planteadas en los escenarios y sus resultados se muestran en la **Tabla 6**.

De estos tres escenarios planteados en la jugada I, la mejor estrategia para el actor 1 es el escenario c, ya que gana mercado, aunque su utilidad baja al 25%, mientras que con a y b pierde más mercado; el escenario c es la mejor opción para el jugador 2 ya que obtiene una mejor utilidad y desde el punto de vista de participación del mercado la mejor opción es b. La mejor opción para los dos jugadores en conjunto es el escenario a, ya que tiene una de las menores variaciones en el mercado, y las utilidades son iguales. En la jugada II, para el actor 1 la mejor opción es el escenario c, ya que en este pierde menos mercado, y su utilidad se mantiene en el 25%, mientras que en los otros 2 baja al 12%. Para el actor 2 la mejor opción es b, ya que obtiene la mayor utilidad y

Tabla 6 Juego y estrategias planteadas.

Jugada del actor 1.	Respuesta del actor 2
I. El jugador 1 aumentara su nivel de precio en 10%, y para contrarrestar la disminución en el mercado plantea disminuir el tiempo de entrega en 15%. El jugador 2 actuara respondiendo según los escenarios planteados, para esta respuesta el actor 1 mantiene constante sus variables	A. Entonces “1” pasa de 50% de mercado a 48.53%, con lo cual su estrategia no es suficiente, para mantener el juego, además su utilidad disminuyo a 25% debido al incremento en costos por la disminución del tiempo de entrega. Para “2” se incremento la participación en el mercado y sus cambios iguales lo que hicieron fue frenar su aumento en el mercado y disminuir su utilidad al 25%.
	B. En el período 1: “1” pasa de 50% de mercado a 48.53%, con lo cual su estrategia no es suficiente para mantener el juego, además su utilidad disminuyo a 25% debido al incremento en costos por la disminución del tiempo de entrega; “2” incremento su demanda a 51.47%, con una utilidad de 35%. Para el período 2: la demanda de “1” disminuye aun más y pasa al 47.10% y la de “2” pasa a 52.90%, en este caso las utilidades permanecen iguales con lo cual el jugador 2 es el más beneficiado.
	C. Para esta respuesta del jugador 2 se considera que el logro pronosticar que su competidor iba a aumentar su precio en 10%, de tal manera que él lo hizo igual, lo que no pronosticó fue la inversión en calidad del actor 1. Los resultados obtenidos muestran que en el período 1, el jugador 1 aumenta su demanda al 51.85% producto de la inversión en calidad realizada, y la utilidad descendió al 25%, mientras que “2” disminuyo su poder en el mercado al 48.15% pero su utilidad aumento al 41%. En este se pudo observar que aunque el actor dos logro incrementar su utilidad debido al pronóstico realizado, perdió poder en el mercado debido a que su estrategia fue incompleta en comparación con la del jugador 1.
II. El actor 1 decide mantener su precio constante, pero al reducirse sus utilidades se presenta incumplimiento en la cantidad entregada del 10%. Sin embargo trata de diferenciar su producto por medio de una inversión para aumentar la calidad, esta la hace incrementando la resistencia del producto en 5%.	A. El jugador 1, pierde de nuevo participación en el mercado, ahora es del 47.04%, debido a que el efecto del descenso en la cantidad entregada fue mayor al efecto de aumentar la calidad del bien, se incrementaron los costos y su utilidad de nuevo cayó al 12%. Para el jugador 2 al responder de la misma manera encuentra que se aumenta su demanda al 52.96% pero su utilidad disminuye al 12%.
	B. En este caso el jugador 1 ve disminuida su demanda, en el período 3 baja al 45.66%, y en el 4 baja al 44.25%, sus utilidades bajan al 12%. Mientras que el actor 2 conserva sus niveles de utilidad marginal en 35%, y su demanda se incremento a 54.34% y 55.75%, para los periodos 3 y 4 respectivamente.
	C. En esta jugada el actor 2 al ver el resultado del aumento de la demanda del bien para el actor 1, decide bajar su precio en 10% con el fin de aumentar su cobertura en el mercado. El resultado obtenido para el actor 1 es que se disminuye la demanda al 48.41% producto del incumplimiento en la cantidad entregada y reforzado por la disminución del precio del actor 2, la utilidad se mantuvo en 25%. Para el jugador 2 fue benéfico ya que aumentó la participación en el mercado al 51.59% a pesar de que se redujo la utilidad al 34%.

la mayor participación en el mercado. La estrategia dada por el escenario a no es atractiva para ningún actor ya que se disminuye las utilidades. Para el oligopolio en conjunto la mejor opción es el escenario c, ya que es el que ofrece buenas utilidades para ambos y la repartición del mercado más equitativa.

8. CONCLUSIONES

En un mercado en el cual sólo dos productores participan generando bienes idénticos a costos idénticos, la competencia se da en términos de las variables estratégicas y de las decisiones que puedan tomarse respecto a éstas, las cuales influyen en la decisión de compra de los consumidores. En este modelo se presentó un juego entre dos empresas las cuales pueden variar sus niveles de precios, cumplimiento en la cantidad entregada, el tiempo de entrega y la calidad. Se pudo observar como las estrategias del actor líder del duopolio determinan el rumbo del juego, y el seguidor debe escoger las mejores opciones para contrarrestar el efecto en la cobertura del mercado y sus utilidades.

Este modelo también permitió representar el caso en que las estrategias son aplicadas de manera simultánea y su efecto en las utilidades y la participación del mercado. En algunos casos se identificó que la mejor estrategia que podía seguir el actor 2 era no realizar ningún cambio o anticiparse, aunque esto no es generalizable si es importante destacar el manejo que se le dé a la información, ya que un buen uso de ésta es fundamental en la toma de una buena decisión. Para esto, herramientas como la dinámica de sistemas permite obtener dicha información al ser un modelamiento dinámico, además se constituye en un proceso de aprendizaje continuo (Senge [13]) en el cual el analista incrementa sus competencias (laboratorios de aprendizaje, [15]) y adicionalmente obtiene información para una toma de decisiones efectiva. Este trabajo permite concluir que la simulación es una herramienta poderosa para la representación de sistemas, y para la elaboración de juegos dinámicos que permiten la interacción entre los usuarios con el fin de crear espacios virtuales donde se puede experimentar con el modelo, tomar decisiones y encontrar resultados de una manera eficiente (rápida) y también de manera eficaz (dependiendo de la acertividad del modelo).

En este trabajo se presenta una primera aproximación de la aplicación de la dinámica de sistemas a la modelación de oligopolios, por lo que se plantean las siguientes líneas de investigación para profundizar más en el tema:

- o Desarrollo de un modelo de duopolio con variables estratégicas.
- o Aplicación de la modelación de duopolios a un mercado representativo colombiano. Estos pueden ser el sector de telecomunicaciones, el sector energético, las compañías de aviación, y la gestión pública y privada, por ejemplo para la salud, entre otras.

9. REFERENCIAS

- [1] Álvarez Y. y Alonso M., El proceso de toma de decisiones en entornos complejos: una aplicación metodológica, [en línea], disponible en: http://www.uniovi.es/econo/DocumentosTrabajo/2000/194_0_0.pdf. (2, agosto, 2011).
- [2] Aracil J. y Gordillo F., Dinámica de Sistemas. Alianza Editorial, S.A. Madrid. 1997.

- [3] Carreras F. Amer R. y Magaña A., Teoría de juegos. Editorial UPC, España. 2001.
- [4] Economía y Finanzas. Duopolio [en línea], disponible en: <http://www.economia.com/diccionario/D/DUOPOLIO.htm> (10, junio, 2011).
- [5] Fernández J. y Arranz N., La cooperación entre empresas: análisis y diseño. ESIC Editorial, España. 1999.
- [6] García M. y Mariz R., Desarrollo de un modelo de simulación del mercado diario de electricidad español. Departamento de Análisis Económico y Administración de Empresas Universidad A Coruña, [en línea], disponible en: http://tlaio.org.mx/DOCS/T1_4_simulacionpool.pdf (2, agosto, 2011).
- [7] Gibbons, R., Un primer curso de teoría de juegos. Editorial Antoni Bosch, España. 1997.
- [8] Krugman P. y Wells R., Microeconomía: Introducción a la economía. Editorial Reverté S.A, España. 2006.
- [9] Méndez G. y Álvarez L., Diseño de prototipo diagnóstico para la pequeña y mediana empresa, PYME. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2004.
- [11] Pereyra A. y Triunfo P., Oligopolio. Microeconomía Avanzada: Notas docente, [en línea], disponible en: <http://decon.edu.uy/~mito/nota%20oligopolio.pdf> (10, junio, 2011).
- [12] Pindyck R. y Rubinfeld D., Microeconomía. Editorial Prentice Hall, España. 2001.
- [13] Rojas R., Bolsa de energía en el SING – Simulación vía teoría de juegos, [en línea], disponible en: <http://web.ing.puc.cl/~power/paperspdf/rojasrodrigo.pdf> (2, agosto, 2011).
- [14] Senge, P., La quinta disciplina.: Editorial Granica, Bogotá, Colombia. 1995.
- [15] Shannon, R., System Simulation: The Art and Science. Prentice Hall. New Jersey. 1975.
- [16] Sterman J., Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a complex world. Ir-win/McGraw-Hill, Boston, 2000.

10. CURRICULUM

Eduyn Ramiro López Santana. Ingeniero industrial, Grado de Honor Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería, Universidad Distrital. Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Miembro del grupo de investigación Sistemas Expertos y Simulación SES. Es profesor de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas erlopezs@udistrital.edu.co – eduylnl@gmail.com.

Germán Andrés Méndez Giraldo. Ph.D. Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, de Bogotá, Colombia. Obtuvo su título de Maestría en 1998 en la Universidad

De Los Andes de Bogotá, Colombia. Obtuvo su doctorado en 1999 en la Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Se desempeñó como Jefe de Producción en industrias nacionales y multinacionales, Gerente y Coordinador de proyectos. Consultor y asesor empresarial. Es profesor de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital desde 1995 y se ha desempeñado en diversos cargos dentro de la Institución como coordinador del Proyecto Curricular Especialización en Ingeniería de Producción, de la Maestría en Ingeniería Industrial y fue Jefe de la Oficina de Relaciones Interinstitucionales, Vicerrector Administrativo.

Actualmente es el coordinador de la línea de Investigación en Simulación y Dinámica del Sistema y se desempeña como profesor en el área de Investigación de Operaciones en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá, Colombia, y pertenece como investigador al grupo Simulación y Sistemas Expertos, donde realiza estudios sobre Metaheurísticas, Sistemas Expertos y PyME. gmendez@udistrital.edu.co

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Red de aprendizaje para la articulación de las instituciones educativas del departamento de Casanare

Abdias Gomez Duarte

Fundación Universitaria de San Gil

Unisangil

San Gil Santander

agomez@unisangil.edu.co

RESUMEN

En la educación; las estrategias, métodos y herramientas aplicadas son determinantes en la calidad del proceso enseñanza – aprendizaje. Sin embargo, sus resultados no dependen exclusivamente de la estructura del sistema o de sus elementos conformantes: docentes, estudiantes, estrategias y tecnología entre otros; por el contrario, la forma en que estos elementos se relacionan y la naturaleza de sus relaciones son factores determinantes de su comportamiento.

La tecnología, hoy día, juega un importante papel como herramienta de apoyo en temas como acceso a la información, tiempo y cobertura en la educación. Junto a esto, la posibilidad de establecer redes humanas, orientadas a la educación y al aprendizaje es una de las bondades del desarrollo basado en la tecnología. El último año, el semillero de investigación DINAMUS¹, de UNISANGIL, ha orientado sus esfuerzos al diseño y establecimiento de una red de aprendizaje para las instituciones educativas del departamento de Casanare, como un aporte al sistema educativo de los casanareños, dado que permite comunicación directa y permanente entre docentes, estudiantes y demás actores, abriendo posibilidades de aplicación de nuevas estrategias mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación, introduciendo a su vez el enfoque de la dinámica de Sistemas en la escuela.

Palabras clave

Red de aprendizaje, Educación, Tecnología, Enseñanza, Dinámica de Sistemas.

1. INTRODUCCION

La educación contiene elementos que son propios de cada cultura. Sin embargo desde siempre se ha observado un eje común en todos los sistemas de educación: la búsqueda de formación y desarrollo de las personas para lograr la reproducción de la sociedad (Llinás 1997).

Con esta preocupación, en el interior del semillero de investigación se observa la necesidad de plantear alternativas de intervenir el sistema educativo del departamento de Casanare desde la óptica de la Dinámica de Sistemas (DS), para de algún modo, contribuir con el fortalecimiento y mejoramiento de las relaciones observadas entre los actores de sistema.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

¹ Semillero de Investigación del programa de Ingeniería de Sistemas adscrito al grupo COMUNITIC de investigaciones de la Fundación Universitaria de San Gil- Unisangil

2. DE LAS NECESIDADES LOCALES Y LA DINAMICA DE SISTEMAS

2.1 Situación actual

La poca (casi nula) articulación, existente entre las instituciones educativas, los actores y los elementos conformantes de la estructura del sistema educativo del departamento de Casanare, no permite la generación, divulgación y consolidación de nuevo conocimiento.

En la actualidad se evidencian esfuerzos aislados por parte de maestros para publicar y poner en consideración de la comunidad sus creaciones literarias, académicas, tecnológicas o científicas, producto del trabajo realizado al interior de las instituciones o de manera individual.

La siguiente grafica muestra en un bucle reforzado la relación entre el estímulo o propiciar condiciones convenientes para la generación de nuevo conocimiento y su publicación. Dadas las condiciones ideales se esperaría una curva creciente en el número de docentes interesados en participar y la divulgación.

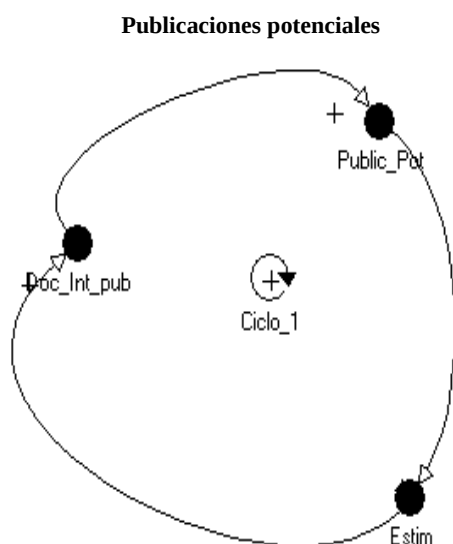


Figura 1. Potencial de Publicaciones

Esta misma condición fragmentaria del sistema, dificulta la consolidación de comunidad académica y científica en el departamento de Casanare.

En este sentido, resulta de gran interés indagar en las características y condiciones propias de nuestro sistema educativo y su inevitable influencia directa en la calidad de la educación.

En el Departamento de Casanare se han realizado importantes esfuerzos para propiciar condiciones adecuadas para la vinculación y permanencia en el sistema educativo departamental; por ejemplo, a los estudiantes se les ofrece el servicio de transporte y restaurante escolar.

Cobertura Educativa en el Departamento

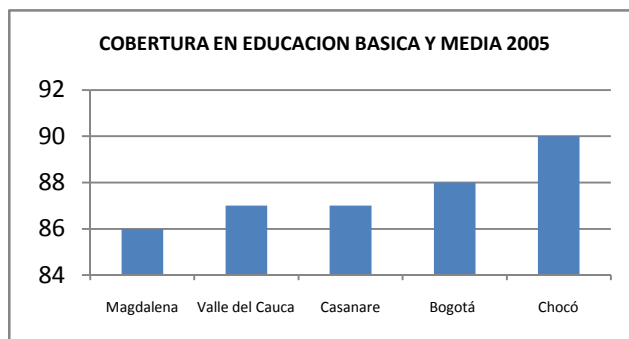


Figura 2. Cobertura educación básica y media

Sin embargo, uno de los grandes retos que enfrenta la educación en el departamento es la aplicación de acciones concretas dirigidas hacia el mejoramiento de la calidad.

Sin duda alguna, dar inicio al establecimiento de una red de aprendizaje que articule y fortalezca las relaciones entre docentes, estudiantes e instituciones gubernamentales, mediante el uso de la tecnología, es una acción concreta orientada hacia la consolidación de comunidad académica, lo cual inevitablemente tiene un impacto positivo en la prestación del servicio educativo.

Junto a esto, la formación de maestros en el uso y apropiación de la red de aprendizaje, favorece las condiciones para el fomento del uso de la Tecnologías de la información (TI), a través del aprovechamiento de los recursos que esta proporciona.

También es importante resaltar que la evaluación del impacto de la constitución de una red de aprendizaje para el departamento de Casanare, es un punto de partida para la toma de futuras decisiones orientadas al mejoramiento de la calidad de la educación en el departamento.

2.2 Introducción del enfoque de la Dinámica de Sistemas en la Escuela del contexto local

La Dinámica de Sistemas como paradigma de pensamiento proporciona una visión integradora de los sistemas que permite comprender como totalidad el sistema educativo del departamento de Casanare.

En la observación realizada se determinó entre otras cosas: i. El 33% de los maestros de las instituciones de educación básica y media muestra interés por abordar nuevas prácticas de enseñanza. ii. El 68% de los docentes manifiesta que su institución cuenta con la infraestructura tecnológica adecuada. iii. El 80% manifiesta conocimientos básicos en tecnología. iv. El 100% de los docentes manifestó desconocer el enfoque de la DS.

Abordar esta situación, implicó entender primeramente que un factor determinante del comportamiento de este sistema, aún más allá de la calidad de los docentes, infraestructura, calidad y cantidad de los recursos, es indudablemente la forma en que se relacionan tres elementos básicos: Maestros – Tecnología – Recursos.

Es así como esta red de aprendizaje para las instituciones educativas es una alternativa para la consolidación de comunidad académica en el departamento. Junto a esto permite la divulgación e introducción del enfoque de la DS en la escuela del departamento de Casanare.

Para la incorporación de la DS, se llevan a cabo acciones directas con las instituciones educativas y sus maestros que buscan la conformación y consolidación de la Red.

- **Contacto inicial.** Se concreta la participación de cada institución en la red; se presenta una visión general de la metodología y se proponen los alcances esperados.
- **Talleres de capacitación.** Se realizan ejercicios y aplicaciones de modelado y simulación. Se muestra cómo se puede incorporar la simulación a las prácticas docentes.
- **Encuentros de refuerzo.** Se realizan encuentros con los maestros para resolver inquietudes y apoyar el proceso con los docentes.
- **Socialización de experiencias.** Se realiza un encuentro para que los docentes compartan experiencias y se consolide la red.

3. REFERENTE CONCEPTUAL

Los principales conceptos que brindan marco al desarrollo de este trabajo se presentan a continuación: Redes De Aprendizaje- Aprendizaje Colaborativo – Dinámica De Sistemas Y Educación.

3.1. Redes de Aprendizaje

La constitución de redes de aprendizaje en la educación formal es un paso orientado a la necesidad de cerrar las brechas creadas entre las necesidades actuales del sistema educativo y el modelo tradicional, dada la naturaleza estática y fragmentaria de este modelo.

Koper [1] (2003) proporciona un acercamiento a la definición de Red de Aprendizaje, integrando tres elementos en ella: i. Actores. ii. Recursos. iii. Tecnología. Se puede concebir entonces una red de aprendizaje como la articulación organizada de estos tres componentes en busca de aprendizaje eficaz y permanente.

La figura 1 muestra las posibles relaciones, observadas entre los principales participantes en una red de aprendizaje.

Triada de Elementos de una Red de Aprendizaje

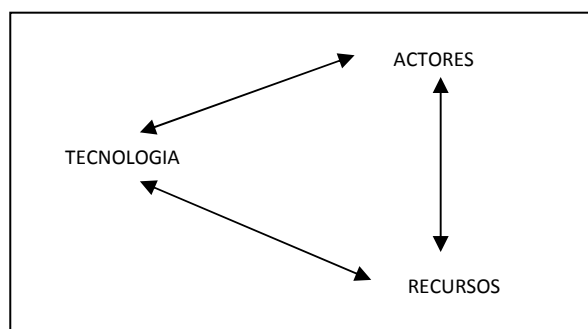


Figura 3. Elementos Red de Aprendizaje y sus Relaciones

Para la red de aprendizaje del departamento de Casanare, entre los actores se encuentran las instituciones (docentes) de educación básica y media, la Secretaría de Educación departamental y Unisangil desde el semillero de Investigación; como plataforma tecnológica de interacción se ha desarrollado Red MAESTRO 1.0, para la articulación de actores, recursos y tecnología.

3.2 Aprendizaje Colaborativo

Cada vez que se acerca la lupa para observar el modelo educativo, estudiante – docente-contenido, es fácil encontrar que el número de elementos y relaciones en el sistema educativo es aún mayor que esta simple concepción, dejando ver que, el educativo es un sistema complejo con conexiones imperceptibles ante una mirada desprevenida. El reto entonces que nos propone esta realidad, es tratar de comprender este complejo entramado de relaciones y proponer ambientes que propicien y faciliten el aprendizaje.

La tecnología basada en los computadores hoy día se constituye en una herramienta facilitadora y en mediador del aprendizaje. En el aprendizaje colaborativo asistido por el computador, se puede observar que el estudiante deja de ser un agente aislado en el proceso a ser un elemento activo en interacción permanente con los demás elementos del sistema; además a través de esta interacción se genera en el estudiante la necesidad de colaborar para favorecer su propio aprendizaje.

Barbera [2] (2001) junto a otros autores, han definido el aprendizaje colaborativo mediado por la tecnología como una estrategia de enseñanza que permite que dos o más personas interactúen de forma “especial” para construir conocimiento.

La figura 2 ilustra la dinámica que se genera a través de los convenios de colaboración entre instituciones en una red de aprendizaje y su afectación en el uso y generación de recursos de la red colaborativa a través de la tecnología como elemento mediador.

En el ciclo 1 se observa la relación entre las personas interactuando y colaborando en red y los recursos disponibles en ella en un bucle reforzado. El ciclo 2 muestra la relación dada por la apropiación de la tecnología como elemento mediador y los participantes en la red. Se observa también la influencia del retiro de personas y recursos de la red en ciclo 3 y 4 respectivamente. Permite también observar la importancia de la generación de convenios de colaboración como elemento desencadenante.

3.3 Dinámica de Sistemas y Educación

El pensamiento de sistemas aplicado desde la DS ha logrado extender su aplicación a múltiples campos de conocimiento, entre otros la Educación. El profesor Jay W. Forrester desarrolla desde 1990 *The System Dynamics in Education Project (SDEP)*¹ orientado a fomentar el aprendizaje centrado en el aprendiz y el uso de la Dinámica de Sistemas en la educación. Este grupo escribe una guía para el aprendizaje de este enfoque en su serie Road Maps².

¹ <http://web.mit.edu/sysdyn/sdep.html>

² <http://web.mit.edu/sysdyn/road-maps/intro.html>

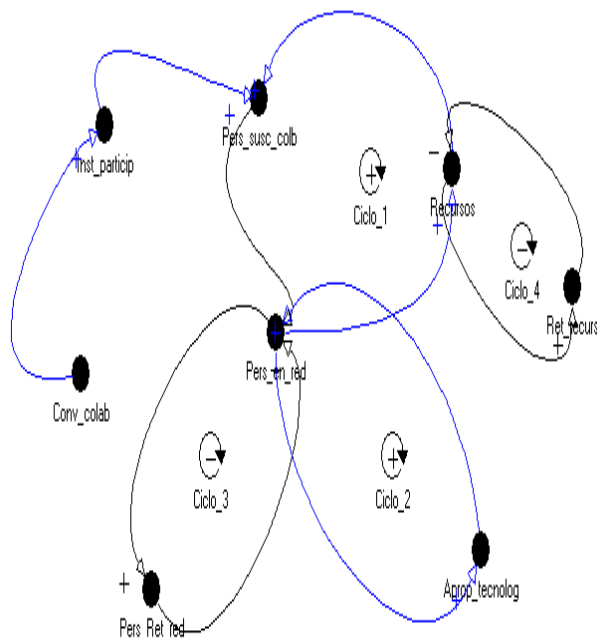


Figura 2. Relación Actor-Tecnología-Recurso

Sin embargo diversos autores como Gould-Kreutzer y el mismo Forrester señalan a Nancy Roberts como la primera en publicar un artículo sobre la educación y la DS en 1974.

La experiencia colombiana está claramente influenciada por el trabajo realizado por el grupo SIMON³ de investigaciones de la universidad industrial de Santander que desde hace dos décadas ha realizado importantes acciones orientadas a la divulgación y aplicación de la DS en la escuela colombiana.

Hoy día, diversos grupos de investigación del país desarrollan proyectos que promueven la enseñanza y uso de la DS en la educación para todos sus niveles.

En la Fundación Universitaria de San Gil – Unisangil sede Yopal, existe un semillero de investigación conformado por docentes y estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas que a través de este proyecto busca dar un punto de partida a la introducción del pensamiento de Sistemas y del enfoque de la DS en el sistema educativo del departamento de Casanare y la Orinoquia Colombiana.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados y el impacto esperado con este proyecto.

³ <http://simon.uis.edu.co/joomla/home>

4.1 Asociados a la Generación de Nuevo Conocimiento y Tecnología

• Productos/resultados.

i. Una (1) red de aprendizaje (plataforma web –Red Maestro 1.0) para los profesores e instituciones educativas del departamento de Casanare, con los siguientes servicios: publicaciones o muro de noticias, chat, foros, blog, wiki. Permitirá la gestión “on line” de proyectos dirigidos por la administración educativa en las instituciones del departamento. Junto a esto permitirá el acopio de información a través del servicio de carga y descarga de archivos en diferentes formatos entre docentes y entes administrativos.

ii. Una comunidad académica (docentes – profesionales de las instituciones – administrativos) interactuando a través de la red.

iii. Introducción del enfoque de la Dinámica de Sistemas aplicado al aula. Conformación de un grupo de profesores base para la divulgación del modelamiento y simulación con DS en la escuela del Departamento de Casanare.

iv. Fomento del uso de las Tecnologías de la información como herramientas de Aprendizaje y enseñanza en los profesores del departamento

4.2 Conducentes a la Consolidación de Comunidad Académica

• Productos/Resultados.

i. Formación y consolidación de una red de aprendizaje para la academia.

ii. Formación de docentes en la apropiación y uso de la plataforma tecnológica.

5. REFERENCIAS

- [1] Rob Koper, Ellen Rusman, Peter Sloep. 2003. *Learning Network connecting people, organizations, software agents and learning resources to establish the emergence of effective lifelong learning*. Disponible en: <http://dspace.ou.nl/dspace/handle/1820/65?mode=simple>.
- [2] Barbera, E. (coord.) (2001). *La incógnita de la Educación a distancia*. Barcelona.
- [3] ANDRADE, Hugo y LOPEZ Giovanni. *Red de Aprendizaje para el Modelado y Simulación en la Escuela Colombiana*. Séptimo Congreso Latinoamericano y Séptimo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2009
- [4] Andrade Hugo, López Giovanni, Maestre Gina. *La lúdica y las redes humanas como estrategia para promover la sostenibilidad de la incorporación de la dinámica de sistemas en las escuelas colombianas*. Sexto encuentro Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Santiago de Chile, Octubre 2008.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Impacto del esquema de intercambio de electricidad en la integración energética entre Ecuador, Colombia y Panamá

Dayanna Osorio Ramírez

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8

(574) 4255350

dosoriora@unal.edu.co

Carlos J. Franco C., Ph. D

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8

(574) 4255350

cjfranco@unal.edu.co

RESUMEN

Al crear competencia en los mercados eléctricos se logró tener un acceso libre a la red de transmisión lo que permitió incentivar que muchos países desarrollaran interconexiones eléctricas con países vecinos y establecieran mercados regionales buscando beneficios para los países miembros en términos económicos, sociales y ambientales, con el objetivo de mejorar su seguridad energética. Uno de los principales problemas en la integración energética entre países que se presenta actualmente, es escoger el esquema o mecanismo de mercado más adecuado para el manejo de la congestión en las redes de transmisión. Esto se debe a que las redes de interconexión eléctrica tienen una capacidad de transmisión limitada lo que impide que se logre aprovechar al máximo la integración energética y no se obtengan todos los beneficios de ésta. En este trabajo, se pretende analizar la integración entre mercados eléctricos utilizando Dinámica de Sistemas, con el fin de poder observar su comportamiento a futuro mediante la construcción de un modelo que permita realizar una evaluación comparativa entre diferentes esquemas de intercambio de electricidad aplicados a la interconexión eléctrica entre Ecuador, Colombia y Panamá.

Palabras Clave

Integración energética, integración de mercados, market coupling, derechos de transmisión financieros, integración de sistemas de potencia, manejo de congestión.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

1. INTRODUCCIÓN

En un principio los mercados eléctricos se caracterizaban por la presencia muy exclusiva o muy predominante de empresas públicas, siendo consideradas como monopolios propiedad del estado (Hunt & Shuttleworth 1996). Los procesos de reforma energética dentro de los países permitieron promover la competencia y el libre mercado, lo que ha incentivado a que se dé la construcción de interconexiones eléctricas y gasoductos transnacionales, permitiendo intercambios energéticos a nivel regional.

La integración de mercados eléctricos es un tema que actualmente se encuentra en crecimiento. Consiste en la creación de interconexiones entre los sistemas eléctricos de dos o más países vecinos de manera que se pueda tener un mejor aprovechamiento de la explotación y uso de los recursos naturales de cada uno. América Latina y el Caribe son de las regiones con mayor potencialidad de integración eléctrica en el mundo, gracias a sus grandes recursos naturales y energéticos (Ramos 2004). De igual forma, se han desarrollado interconexiones en Norte América y en Europa, así como existen algunos mercados integrados en África y Asia.

Los intercambios en materia de energía eléctrica entre mercados de distintos países permiten optimizar el costo de producción y la seguridad del abastecimiento, la colocación de excedentes de energía y el aprovechamiento de los atributos de la capacidad instalada de los países involucrados.

No obstante, uno de los principales problemas en la integración energética entre países es escoger el esquema de mercado más adecuado para el manejo de la congestión en las redes de transmisión, dificultad asociada con la particularidad de que el total de potencia que puede ser transmitida a través de la red sea limitada. De aquí surge la necesidad de analizar el comportamiento de la integración entre países bajo diferentes esquemas de intercambio de electricidad, en particular, se propone realizarlo para la integración entre Ecuador, Colombia y Panamá de manera que se pueda observar el comportamiento a futuro con

cada uno de ellos y tener una referencia de cuáles serían los más adecuados.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se habla sobre la integración energética; en la sección 3 se describe el planteamiento del problema. La metodología propuesta y la hipótesis dinámica se plantean en la sección 4. En la sección 5 se presentan los resultados preliminares del modelo. Y finalmente, en la sección 6 se expone el trabajo que se está realizando actualmente y las conclusiones.

2. INTEGRACIÓN ENERGÉTICA

La integración energética tiene el potencial de apoyar y complementar políticas sociales y ambientales de los países, así como incentivar su expansión en capacidad de generación (OEA 2007). Para que sea exitosa debe estar relacionada con la integración económica, con objetivos claros que permitan revertir las deficiencias económicas, sociales y ambientales de la región y contribuir a aumentar su competitividad.

A fin de avanzar en la integración es necesario considerar las tendencias de las economías y mercados energéticos mundiales, es decir, el marco en el que se implementarán las políticas.

Son grandes los beneficios que proporciona la integración energética tanto para los países importadores como los exportadores. Los países importadores se ven favorecidos en su desarrollo industrial gracias al acceso a recursos energéticos abundantes y de bajo costo, así como en la planificación de un desarrollo económico sostenible a largo plazo y a la reducción del grado de incertidumbre y riesgo de desabastecimiento. La integración para los países exportadores, incentiva las inversiones en su sector energético y la ampliación de su mercado.

En América Latina se han tenido grandes avances en este tema. La interconexión eléctrica demanda mayores procesos de planificación de cara a la eficiencia energética, los cuales deben ser alcanzados mediante el desarrollo y perfeccionamiento de las operaciones eléctricas (OEA 2007).

En el 2002 se aprobó la Decisión 536 de la CAN “Marco General para la interconexión subregional de sistemas eléctricos e intercambio intracomunitario de electricidad” (CAN 2002), que brindó el marco jurídico comunitario para impulsar el desarrollo del tema eléctrico entre los Países Miembros. Es así, como se han llevado a cabo interconexiones eléctricas en América Latina como la integración entre Colombia y Ecuador (Zaconetti 2003), Colombia y Venezuela (Umana et al. 2006), Brasil y Argentina, Ecuador y Perú (CIER 2009) (OLADE 2006), entre otras así como existen proyectos en curso como la interconexión entre Colombia y Panamá que se espera que esté lista para el año 2012 (Figuerola 2007) (ISA 2006), entre otros. Dichas interconexiones se pueden observar en la Figura 1.

La integración energética favorece también a la investigación científica, el intercambio de tecnología y generación de conocimiento en nuestros países. Por medio de ésta, los países consideran la creación de una pared en la frontera borde entre países organizando el mercado de cada país como si la

exportación fuese una demanda en la frontera y la importación una generación, ambas pertenecientes a su propio mercado.

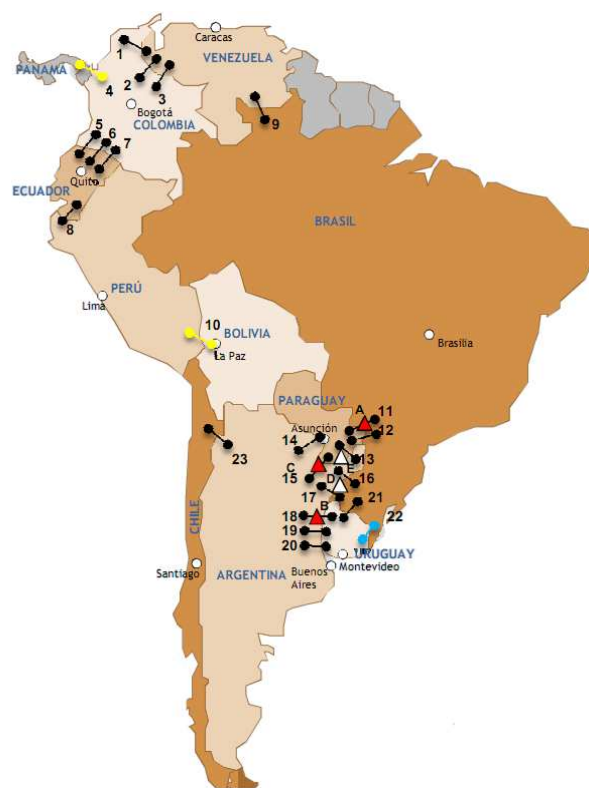


Figura 1. Interconexiones eléctricas en América del Sur.
Fuente: CIER, 2010

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La integración eléctrica no es sólo una actividad que involucra aspectos relacionados con la generación y la transmisión de la electricidad sino también la armonización de los mercados siendo esto un proceso complejo y de largo plazo (OEA 2007). Es posible que las redes de interconexión eléctrica entre los países se congestionen ya que no tienen una capacidad de transmisión ilimitada, esto ocurre cuando la capacidad en los enlaces de transmisión no es suficiente para abastecer la demanda de los participantes del mercado a un mismo precio (Stoft, S. 2002), debido a que ocasiona que se divida el mercado en diferentes zonas y los precios de comercio de la energía dejen de ser los mismos para todo el sistema (Modi & Parekh 2009).

Los problemas de capacidad en las líneas de transmisión al causar que la diferencia de precios marginales en distintas zonas del sistema varíe, produce que los generadores deban enfrentarse a la incertidumbre causada por dicha diferencia de precios. Cuando se produce la congestión en la red de transmisión en un mercado de electricidad, se divide el mercado en diferentes zonas y los precios de comercio de electricidad dejan de ser los mismos para todo el sistema. Es por esto, que para el uso de estas interconexiones debe definirse un esquema que permita aprovechar los beneficios de la integración, con el fin de realizar el suministro de energía eléctrica

de un país a otro y definir el sentido en el que se realiza dicha transacción.

El problema radica en escoger el esquema de integración más adecuado, ya que éste depende de las similitudes y diferencias de los países que se van a integrar. Contar con un esquema o mecanismo de intercambio de electricidad permite saber de qué forma se van a distribuir los derechos de transmisión, es decir, quién tendrá derecho a transmitir la electricidad por la red. De esto depende que se pueda garantizar el suministro adecuado y confiable de energía necesario para el bienestar de los países.

Este problema principal, asociado con un comercio interregional, aparece en la coordinación de muchos operadores del sistema de transmisión (TSOs) (Aguado 2004). Ya que los mercados eléctricos tienen como uno de sus objetivos principales proporcionar un acceso libre y no discriminatorio a los servicios de transmisión garantizando la seguridad y la confiabilidad del sistema (Triki et al. 2005). De aquí surge la necesidad de utilizar un esquema de intercambio de electricidad para el manejo de la congestión en las redes de interconexión; sin embargo, no existe un consenso para saber cuál es el esquema más adecuado para aplicar en cada interconexión debido a que esto depende de las características de los países que se van a integrar.

Por otro lado, son pocos los estudios que se han realizado en la actualidad para medir el comportamiento o los efectos de la interconexión entre dos o más países a futuro. Ziogos (Ziogos 2008) propone y analiza un modelo basado en subastas de los derechos de transmisión en un mercado mensual y anual con el fin de estudiar las posibles decisiones que los participantes del mercado pueden tomar de manera que puedan maximizar sus ingresos.

Así mismo, se encuentra el trabajo realizado en la Universidad Nacional de Colombia por María Camila Ochoa Jaramillo (Ochoa 2010) sobre el desarrollo de un modelo para analizar la integración de Panamá, Colombia, Ecuador y Perú, observando sus posibles efectos a largo plazo sobre las tendencias en la evolución de la capacidad instalada.

4. MODELO

Para analizar el comportamiento a largo plazo de la integración de mercados eléctricos bajo diferentes esquemas, se hace necesario desarrollar un modelo que permita evaluar los efectos de diferentes esquemas de intercambio de electricidad aplicados a la interconexión eléctrica entre Colombia, Ecuador y Panamá.

Se hace necesario realizar un modelo en dinámica de sistemas (Forrester 1961), por medio del cual se puedan reproducir las dinámicas de expansión de la capacidad instalada y de la generación de energía eléctrica para cada país. Además de poder implementar los algoritmos correspondientes a los esquemas de intercambio de electricidad dentro del modelo.

4.1 ¿Por qué Dinámica de Sistemas?

La dinámica de sistemas es una herramienta de simulación que permite saber cómo los sistemas podrían comportarse bajo ciertas condiciones y evaluar políticas y observar sus efectos en el tiempo mediante la construcción de modelos que exprese las relaciones entre la estructura del sistema y su comportamiento (Aracil 1997). Fue desarrollada por Jay W. Forrester aproximadamente para el año 1950.

La integración energética entre países es un sistema complejo en el cual puede verse la interacción de diversas variables. Dicha complejidad se refleja de acuerdo a características como que el sistema presenta ciclos de realimentación, así como retardos, entre el momento en que se decide invertir en la capacidad de un país y el desarrollo de ésta, que pueden crear inestabilidad en el sistema (Stermann 2000).

Los mercados de electricidad, especialmente la integración energética entre ellos, es un tema que se encuentra en crecimiento por lo que la información histórica que se tiene no es lo suficientemente completa para realizar un análisis exhaustivo sobre éste, mediante modelos matemáticos tradicionales. La dinámica de sistemas no necesita datos completos y permite que las variables que no se conocen en su totalidad, puedan ser evaluadas bajo diferentes condiciones y, así, pueda reproducir el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios.

Es por esto que utilizando Dinámica de Sistemas es posible observar este sistema a futuro y definir políticas que permitan mostrar cómo varía el comportamiento del sistema, siendo esto un apoyo para el proceso de toma de decisiones.

4.2 Hipótesis Dinámica

Para analizar los flujos de electricidad en un sistema integrado, se plantea el diagrama causal presentado en la Figura 2 para el caso de 2 países interconectados. En éste, se observan los ciclos de realimentación y los retardos en el sistema. El modelo está compuesto por 7 ciclos balance.

Para garantizar la seguridad de suministro en un mercado eléctrico, se debe asegurar que la capacidad instalada sea mayor que la demanda, conservando así un margen de capacidad adecuado.

En los ciclos B1 y B2, se presenta la dinámica para la expansión de capacidad de cada país, donde se observa que si el margen de capacidad es alto entonces disminuirá la inversión en capacidad, mientras que si el margen es bajo, la inversión en capacidad tendrá un efecto positivo, con un retardo asociado al tiempo de construcción, sobre la capacidad instalada de cada país.

Los ciclos B3 y B4 representan cómo el margen de capacidad de cada país disminuye si crece la demanda de electricidad en el país la cual, a su vez, depende del precio de electricidad.

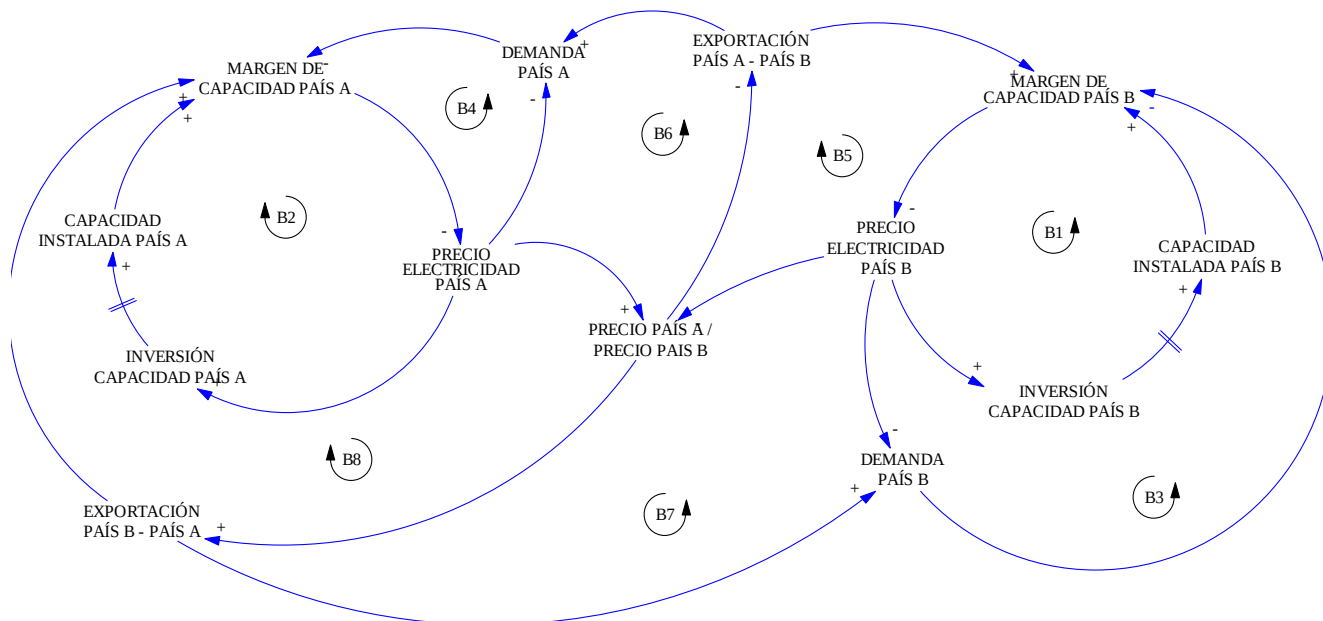


Figura 2. Diagrama causal de dos países integrados

Se puede observar que en el ciclo B5, el precio de la electricidad en el país B disminuye si aumenta el margen de capacidad en este país, lo que generaría que la relación entre los precios de los dos países aumente ($\text{Precio País A} / \text{Precio País B}$) y, por consiguiente, sea menor la exportación del país A al B. Dicha relación de precios está dada por la diferencia entre el precio del país A y el B.

El ciclo B6 muestra cómo el aumento en el precio de la electricidad en el país A afecta positivamente la relación entre los precios de los países, disminuyendo la exportación del país A al país B. Así, el incremento de dicha exportación del país A al país B, llevaría a que la demanda del país A crezca. Por el contrario, en el ciclo B7, la relación entre los precios de los países disminuye al aumentar el precio de electricidad en el país B lo que provocaría un incremento en la exportación del país B al país A, aumentando la demanda de electricidad en el país B.

Finalmente, el ciclo de balance B7, representa cómo el incremento de la importación de electricidad del país B al país A afecta positivamente el margen de capacidad del país A, ocasionando que el precio de la electricidad en este país disminuya y, por consiguiente, disminuya la importación del país B al país A.

5 RESULTADOS PRELIMINARES

A partir de la hipótesis planteada anteriormente, se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas que permite mostrar la dinámica de expansión de la capacidad instalada de cada país y cómo ésta va evolucionando en el tiempo. Así mismo, es posible observar

mediante el modelo la dinámica de generación de energía eléctrica de cada país en el tiempo, incluyendo las exportaciones e importaciones que se presentan en cada mercado eléctrico.

El modelo se encuentra en proceso de calibración utilizando datos actuales de los sistemas eléctricos de los países, por lo tanto los resultados deben tomarse como preliminares (XM 2010)(CIER 2010)(CENACE 2011)(CONELEC 2011).

5.1 Expansión de Capacidad

Los procesos de expansión de la capacidad instalada de Colombia y Ecuador se encuentran en las figuras 1 y 2, donde puede observarse una tendencia creciente debido al constante aumento de la demanda.

Es posible observar que la capacidad instalada de cada país en cada momento del tiempo es superior a la demanda interna de electricidad, esto refleja el hecho de que los países deben mantener un margen de capacidad alto para aquellos momentos en que se presentan picos de demanda, en los cuales es necesario utilizar casi la totalidad de su capacidad.

Para la capacidad instalada de Colombia, se puede ver que predominan las plantas hidráulicas, les siguen las plantas a gas y, por último, a carbón. Mientras que en Ecuador, las centrales de mayor representación son las térmicas en lugar de las hidroeléctricas, pero teniendo estas últimas un porcentaje significativo en la capacidad total instalada en este país.

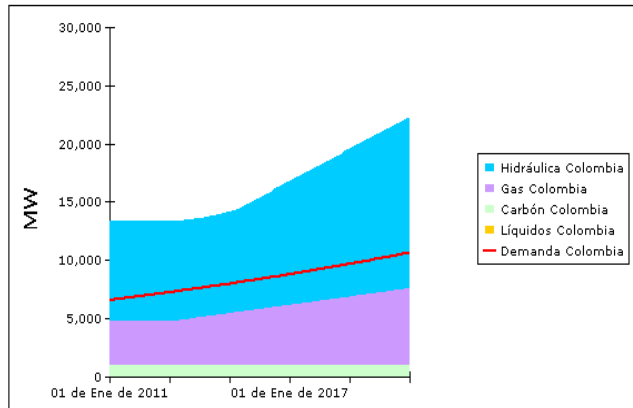


Figura 3. Expansión de Capacidad Instalada para Colombia.

5.2 Generación de Energía Eléctrica

La generación eléctrica en Colombia depende en gran medida de las centrales hidroeléctricas. Se puede observar en la figura 3 que la generación hidráulica es predominante entre las otras dos

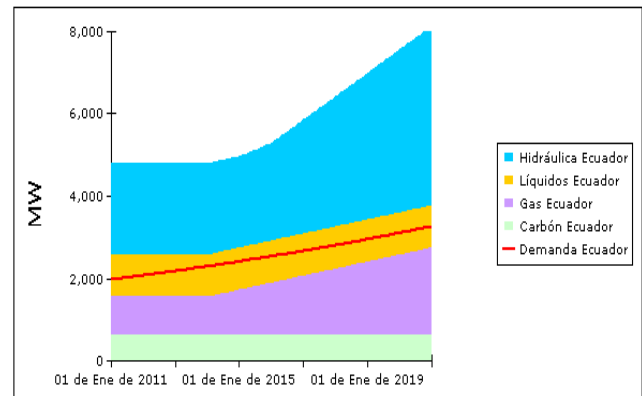


Figura 4. Expansión de Capacidad Instalada para Ecuador

tecnologías, no sólo por la alta capacidad instalada con la que cuenta el país sino también debido al hecho de que tiene un costo de generación más bajo que los otros combustibles (Carbón y Gas).

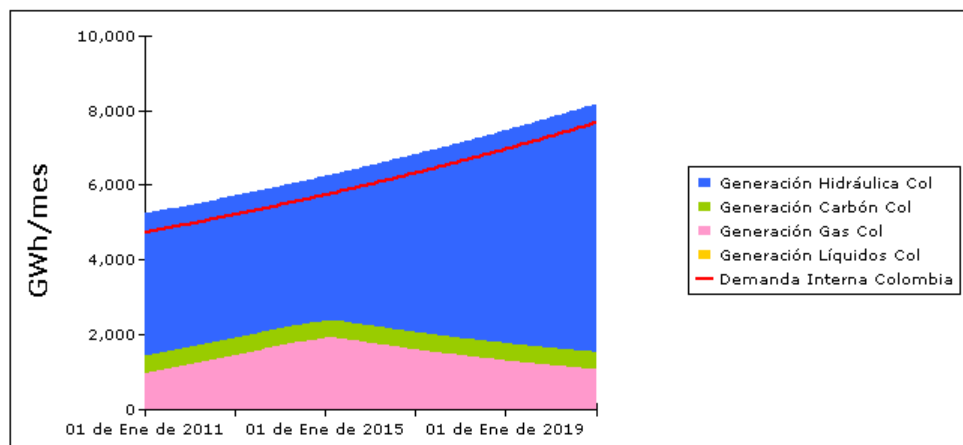


Figura 5. Generación de energía eléctrica en Colombia

Colombia cuenta con gran capacidad en sus embalses y mientras no sea muy alto el costo de la generación hidroeléctrica se utilizará como primera opción, mientras que cuando sea muy alto el costo, entrarán a generar más energía eléctrica las plantas a carbón y gas.

La generación de energía eléctrica en Ecuador, en comparación con Colombia, no es tan alta, ya que no cuenta con recursos energéticos tan amplios. Se puede observar que la generación es parte hidráulica y parte térmica. En momentos en que el país cuenta con un buen nivel de embalse, mientras que los costos variables de las tecnologías a carbón y gas sean muy altos, el precio de generar electricidad mediante las plantas térmicas puede ser más alto que los precios de energía eléctrica de las centrales hidroeléctricas, lo que llevaría a que la generación fuera

predominantemente hidráulica. Esta dinámica puede observarse en la figura 4.

Para la generación de energía eléctrica de cada país, se modeló el caso en que no existen momentos de racionamiento, dado que siempre la generación satisface la demanda. Dentro de la dinámica de la generación eléctrica de cada país, se puede ver momentos en que la demanda es mayor o menor a la generación, esto corresponde a aquellos momentos en que se presentaron exportaciones o importaciones de acuerdo al caso.

Las exportaciones de energía eléctrica se realizan principalmente desde Colombia hacia Ecuador. Colombia es un país que cuenta con mejores recursos energéticos que Ecuador por lo que se puede esperar que a largo plazo se tenga una perspectiva creciente de exportación de energía eléctrica hacia otros países.

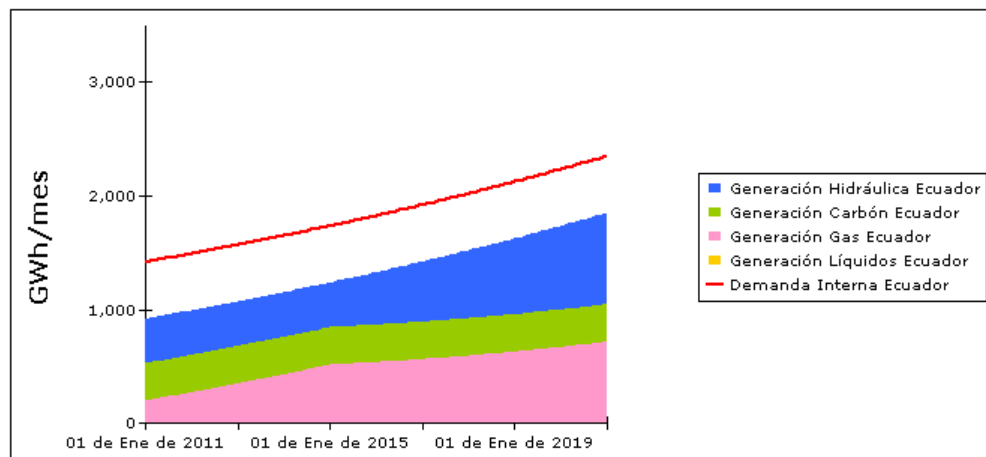


Figura 6. Generación de energía eléctrica en Ecuador

6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Mediante la integración eléctrica se pueden producir grandes beneficios permitiendo el aprovechamiento energético de los países, incrementando la productividad, reduciendo los costos de energía y mejorando las ventajas competitivas de la región.

Por medio de Dinámica de Sistemas, es posible describir el sistema y generar una hipótesis dinámica acerca del comportamiento de países integrados, con el fin de entender el sistema y proponer políticas por medio de las cuales se pueda tener un mejor aprovechamiento de la integración, realizando un análisis comparativo del desempeño de diferentes esquemas de intercambio de electricidad.

El modelo realizado provee una herramienta en la cual se combina la dinámica de sistemas y un algoritmo de iteración correspondiente a cada esquema que se desee aplicar, de manera que pueda observarse la evolución a largo plazo de la integración energética de los mercados eléctricos bajo diversos esquemas, involucrando el despacho de energía eléctrica de corto plazo que se realiza en cada país. Así, con este modelo se podrá evidenciar cómo es el comportamiento de las transacciones entre los países de acuerdo al esquema elegido.

Como trabajo futuro está el desarrollo de los algoritmos iterativos que serán aplicados dentro del modelo de dinámica de sistemas para modelar los esquemas de intercambio de electricidad. Además, la introducción de la dinámica de Panamá dentro del modelo.

7 REFERENCES

- [1] Aguado, J.A. a, 2004. Coordinated Spot Market for Congestion Management of Inter-Regional Electricity Markets. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(1), págs.180–187.
- [2] Aracil, J., 1997. Introducción a la dinámica de sistemas. *España. Madrid*, 1.
- [3] CAN, 2002. Normativa de la Comunidad Andina / DECISION 536: Marco General para la interconexión subregional de sistemas eléctricos e intercambio intracomunitario de electricidad. Available at: <http://www.comunidadandina.org/normativa/dec/D536.htm> [Accedido Junio 8, 2011].
- [4] CENACE, 2011. CENACE. Administrador Técnico y Comercial del Mercado Eléctrico Mayorista del Ecuador. Available at: http://www.cenace.org.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=64&Itemid=59 [Accedido Agosto 20, 2011].
- [5] CIER, 2009. Síntesis Informativa Energética de los Países de la CIER 2009. Available at: <http://www.cier.org.uy/d06-sie/index.htm> [Accedido Junio 1, 2011].
- [6] CIER, 2010. Síntesis Informativa Energética de los Países de la CIER 2010. Available at: <http://www.cier.org.uy/d06-sie/index.htm> [Accedido Agosto 15, 2011].
- [7] CONELEC, 2011. Indicadores del Sector Eléctrico. Available at: <http://www.conelec.gob.ec/indicadores/> [Accedido Agosto 20, 2011].
- [8] Figueroa, D.C., 2007. Colombia y el Plan Puebla Panamá. *CIEPAC, Bogotá*.
- [9] Forrester, J.W., 1961. Industrial dynamics. *Massachusetts: Productivity Press - MIT*.
- [10] Hunt, S. & Shuttleworth, G., 1996. *Competition and Choice in Electricity*, John Wiley & Sons Inc.
- [11] ISA, E., 2006. La Interconexión Colombia - Panamá. El enlace entre los Mercados de la Región Andina y América Central.

- [12] Modi, N.S. & Parekh, B.R., 2009. Transmission Network Congestion in Deregulated Wholesale Electricity Market. En Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2009 Vol II.
- [13] Ochoa, M.C., 2010. *Análisis de la Integración Eléctrica Panamá - CAN bajo el Esquema de Subasta Implícita*. Universidad Nacional de Colombia.
- [14] OEA, 2007. Cooperación e Integración Eléctrica Regional en las Américas. Available at: <http://www.oas.org/dsd/Documents/Cooperaci%C3%B3n%20e%20Integraci%C3%B3nEl%C3%A9ctricaRegionaleNaAm%C3%A9ricas.pdf> [Accedido Mayo 1, 2011].
- [15] OLADE, 2006. OLADE en la Integración Energética Latinoamericana.
- [16] Ramos, A.M., 2004. *Fundamentos para la constitución de un mercado común de electricidad*, United Nations.
- [17] Sterman, J., 2000. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World with CD-ROM*, McGraw-Hill/Irwin.
- [18] Stoft, S., 2002. *Power System Economics: Designing Markets for Electricity* 1o ed., Wiley-IEEE Press.
- [19] Triki, C., Beraldi, P. & Gross, G., 2005. Optimal capacity allocation in multi-auction electricity markets under uncertainty. *Computers & operations research*, 32(2), págs.201–217.
- [20] Umana, J. et al., 2006. Regulatory Analysis of International Electricity's Transactions between Colombia and Venezuela. En *2006 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America*. 2006 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America. Caracas, Venezuela, págs. 1-5.
- [21] XM, 2010. XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P. - Página Principal. Available at: <http://www.xm.com.co> [Accedido Junio 9, 2011].
- [22] Zaconetti, J.M., 2003. *Las políticas energéticas en la Comunidad Andina*, Lima, CAN-PLADES.
- [23] Ziogos, N.P., 2008. Analysis of a yearly multi-round, multi-period, multi-product transmission rights auction. *Electric Power Systems Research*, 78(3), págs.464-474.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Relación entre recursos, eficiencia y tiempo de respuesta del sistema logístico de atención humanitaria desde un enfoque sistémico

Karol Viviana Moreno Valbuena

Estudiante de Maestría y Profesor Universidad de La Sabana

Campus Puente el Común, Chía, Colombia
(571) 8615555 ext 2562

karolmova@unisabana.edu.co

Leonardo José González Rodríguez Profesor

Investigador Universidad de La Sabana

Campus Puente el Común, Chía, Colombia
(571) 8615555 ext 2505

leonardogr@unisabana.edu.co

RESUMEN

El sistema logístico de atención humanitaria es un sistema complejo debido a la cantidad de interacciones que se generan entre los diferentes actores que intervienen en las operaciones, y la imprevisibilidad en la ocurrencia del desastre y demanda generada como consecuencia de este. En el presente trabajo se utilizara la dinámica de sistemas como una herramienta para comprender y analizar el comportamiento y la relación entre inversión en recursos, eficiencia del sistema y tiempo de respuesta en la atención de desastres, con el objetivo de que sirva de base para la generación y validación de estrategias en el sector humanitario. Inicialmente se presenta el símil del comportamiento del sistema logístico de atención humanitaria con el arquetipo "Growth and Underinvestment", luego se presenta el diagrama causal que describe el comportamiento del sistema y se construye un modelo que simule dicho comportamiento, con el que se realiza una comparación de los tiempos de respuesta obtenidos y la cantidad de víctimas atendidas entre posibles estrategias de inversión en recursos y eficiencia del sistema.

Palabras clave

Dinámica de sistemas, sistema logístico de atención de desastres, recursos, eficiencia del sistema, tiempo de respuesta.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

1. INTRODUCCIÓN

La frecuencia en la ocurrencia de desastres a nivel mundial ha venido en aumento, pasando de 75 desastres anuales aproximadamente en el año 1975 a 450 desastres anuales en el año 2005, acabando cada año con la vida de 75000 personas aproximadamente y dejando cerca de 200 millones de personas afectadas[1]. Según [2], en los próximos 50 años los desastres naturales y los provocados por el hombre se van a multiplicar por cinco en número e impacto, generándose la necesidad de aumentar la eficiencia de las operaciones de ayuda para el alivio de los desastres y la asistencia humanitaria suministrada durante estos.

Teniendo en cuenta que los esfuerzos logísticos representan el 80% de las operaciones de socorro (Gustavsson, Wassenhove, Trunick, citado en [3]), la logística se convierte en un factor de importancia en la ayuda humanitaria, que ha despertado el interés de la comunidad académica por su complejidad y relevancia.

El sistema de logística de atención humanitaria presenta una gran complejidad por características como: cambios incrementales, alta ambigüedad, alta imprevisibilidad de la demanda, tanto en cantidad, como en el momento en que se genera, problemas de inventarios, congestión de bodegas y terminales de transporte y falta de coordinación entre actores, debido a la cantidad y diversidad de organizaciones que participan y que generan gran número de interacciones y relaciones, provocando un aumento en los tiempos de respuesta en la atención de las víctimas y por lo tanto disminución de su bienestar [4], [5], [1], [2].

Por otro lado unido a la imprevisibilidad en la ocurrencia de los desastres, la naturaleza de la financiación de las organizaciones de ayuda humanitaria, han dado lugar a operaciones con altas tasas de rotación entre empleados, tecnología fragmentada,

procesos mal definidos y falta de aprendizaje institucional a través del tiempo, que dan como resultado operaciones de socorro poco eficientes y poco eficaces, haciendo que el socorro se retrase o se reduzca [2]

En los últimos quince años y cada vez con mayor importancia los investigadores han mostrado interés por la logística humanitaria, la mayoría de ellos enfocándose en los problemas de administración óptima de los recursos, y en una menor proporción a la gestión de la cadena de abastecimiento humanitaria, mediante la ubicación previa y eficiente de los recursos. Estos temas han sido tratados generalmente desde una perspectiva puramente operativa [6], en la que se ven a las actividades de ayuda humanitaria como una serie de actividades discretas desconectadas entre sí (Taylor and Pettit, y el UNDP – United Nations Development Programme, citado en [7]), que dejan de lado una visión estratégica de integración logística, que permita comprender con anterioridad el sistema logístico y sus interacciones en busca de una gestión más eficaz de la atención de desastres[8].

Algunos autores como [9], [10] y [7] describen la importancia de realizar un plan estratégico para las operaciones de ayuda humanitaria, por su parte [1] expresa que las estrategias en la fase de preparación deben constar de cinco elementos claves que dan lugar a la gestión eficaz de los desastres: Recursos humanos, gestión del conocimiento, gestión de operaciones y procesos, recursos financieros y la comunidad, pero estos autores aunque son consientes de la importancia de las estrategias de gestión en las operaciones de atención de desastres no presentan estrategias concretas, sin embargo un grupo reducido de autores como [8] y [11] exponen estrategias basadas en estrategias de logística empresarial.

Es así como surge la necesidad de crear estrategias con factores claves, tales como el desarrollo de la capacidad logística, capacitación y retención del personal, construcción de infraestructura de TI, aumento de la capacidad de evaluar las necesidades en campo y detectar rápidamente los cuellos de botella, adaptándose a las condiciones difíciles[12], entre otros, que permitan una planeación eficaz de las operaciones logísticas en la atención de desastres que conlleven a la disminución de los tiempos de respuesta y al aumento del bienestar de la población vulnerable y de las víctimas de desastres.

Por otra parte la dinámica de sistemas surge como una herramienta eficaz que se ocupa de estudiar cómo cambia el comportamiento de sistemas complejos a través del tiempo, siendo una de sus características más importantes el elucidar la estructura endógena del sistema en cuestión, para describir las relaciones de los elementos del sistema y experimentar con el cambio en las relaciones dentro del mismo, cuando diferentes decisiones son incluidas [13] y [14]. Teniendo en cuenta las características del sistema logístico humanitario que lo convierten en un sistema complejo, con diversas interacciones, demoras, gran cantidad de flujos materiales y de información, y con decisiones y políticas con impacto a largo plazo, la dinámica de sistemas se convierte en una herramienta útil para el estudio y comprensión de este sistema, así lo muestran [15], [16] y [12] quienes han propuesto trabajos de posibles aplicaciones de la dinámica de sistemas al estudio de las operaciones de ayuda humanitaria. El presente trabajo hace uso de la dinámica de para

estudiar y comprender el comportamiento del sistema, y la relación entre los recursos con los que cuenta el sistema logístico, su eficiencia y el tiempo de respuesta ante la ocurrencia de un desastre, partiendo del análisis del símil del arquetipo “Growth and Underinvestment” con el comportamiento del sistema logístico humanitario.

2. ATENCIÓN HUMANITARIA Y EL ARQUETIPO “GROWTH AND UNDERINVESTMENT”

El arquetipo “Growth and Underinvestment” basado en el arquetipo “Limits to successful” representa un sistema en el que una empresa genera una creciente acción para estimular y reforzar la demanda, mientras que el rendimiento actual de la empresa se comporta como el límite de su crecimiento, el cual al ser alcanzado, provoca que el desempeño de la empresa comience a decaer y con esto la demanda. Ante esta situación se percibe la necesidad de invertir en capacidad, que después de un cierto tiempo (demora) esta capacidad impactará al desempeño. El efecto de la demora en este sistema, provoca que cuando la capacidad impacte al desempeño, la demanda habrá caído rotundamente y el sistema se queda sobrado en capacidad. [17]. Lo cual se podría evitar si la inversión en capacidad se hubiera realizado con anticipación y planeación estratégica. La figura 1 muestra el diagrama causal de este arquetipo.

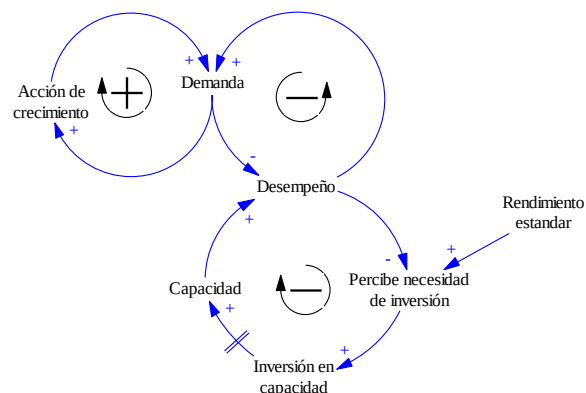


Figura 1. Diagrama causal del arquetipo “Growth and Underinvestment”

Por su parte cuando ocurre un desastre, el sistema de atención humanitaria cuenta con ciertos recursos para la atención de las personas afectadas, recursos que determinan la capacidad de atención del sistema, representada en la cantidad de personas que se pueden atender en cada momento del tiempo, y que depende también de la eficiencia del sistema (personas que se pueden atender por unidad de recurso).

La figura 2 muestra el diagrama causal del sistema de atención humanitaria:

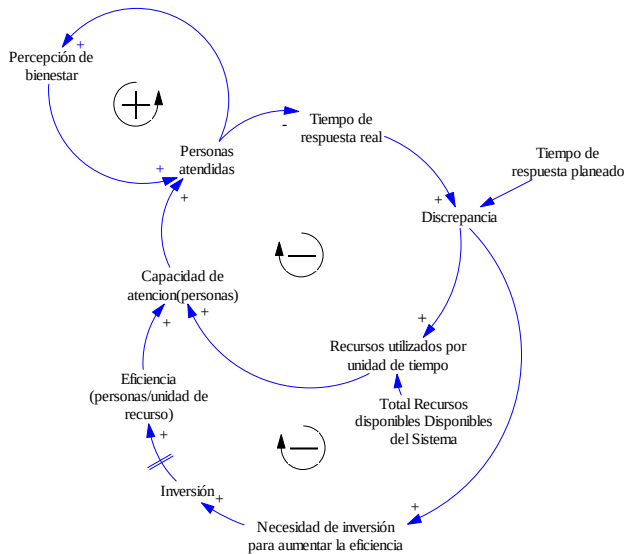


Figura 2. Diagrama causal sistema de atención humanitario

Como se puede observar en el diagrama causal anterior, se pueden identificar tres ciclos de realimentación. Un ciclo compensador, donde hay una cantidad de recursos que pueden ser utilizados por unidad de tiempo y que a su vez son limitados, los cuales a mayores sean, mayor va a ser la capacidad de atención, mayor la cantidad de personas atendidas por unidad de tiempo y por lo tanto menor el tiempo de respuesta. Al tener un tiempo de respuesta planeado definido por el sistema de atención de humanitario, como el número de personas que se deben atender en un tiempo estimado, se genera una discrepancia entre el tiempo real de respuesta y el tiempo planeado, produciendo que a mayor sea la discrepancia, se incrementa la cantidad de recursos que se utilizan por unidad de tiempo, para intentar compensarla, haciendo que los recursos totales con los que cuenta el sistema, disminuyan más rápidamente. Por otro lado existe un segundo ciclo compensador que hace que cuando aumente la discrepancia, se aumente la percepción de la necesidad de invertir en la eficiencia del sistema, generando una inversión y a su vez el aumento de la eficiencia y de la capacidad de atención del sistema, que vuelve a traducirse en un aumento de las personas atendidas, las cuales a mayor sean, menor va a ser el tiempo de respuesta, y se cierra el ciclo, generándose un aumento en la discrepancia si el tiempo de respuesta aumenta.

Por su parte, cuando ocurre un desastre, existe un estado de bienestar con el que quedan las personas afectadas, el cual va aumentando, por factores psicológicos y sociales, a medida que se van atendiendo dichas necesidades (representadas en el número de personas atendidas). Es decir que a mayor cantidad de personas atendidas, mayor la percepción de bienestar, y a mayor percepción de bienestar el indicador de personas atendidas aumentará.

Haciendo el símil con el arquetipo “Growth and Underinvestment” se puede observar como el sistema aumenta la capacidad de atención, aumentando la cantidad de recursos utilizados hasta que se llega al límite de recursos disponibles y la capacidad del sistema se vuelve nula. También hay que tener

en cuenta que aunque el sistema se provee de recursos (donaciones) externos, estos no llegan inmediatamente ocurre el desastre, estos llegan con una demora que hacen que la cantidad de recursos no aumenten con rapidez en las primeras horas del desastre.

Por otro lado aunque se percibe una necesidad de inversión que permite aumentar la eficiencia del sistema, la inversión llega con una demora, y cuando llega, los recursos ya no son suficientes. Esto genera que a pesar de que el sistema se vuelve más eficiente, la capacidad de atención disminuye. Lo cual se podría evitar si se realizara inversión previa a los desastres en aumentar la eficiencia del sistema representada por ejemplo en capacitación de los socorristas, adecuación de vías y planeación de inventarios, estrategias de coordinación entre organizaciones, implementación de sistemas de información, etc., que permitan una mayor capacidad de atención en menor tiempo.

3. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN

Para simular este comportamiento se construyó el modelo del sistema en representación Forrester y se simuló en el software Vensim®. A continuación en la figura 3 se muestra el modelo en representación Forrester.

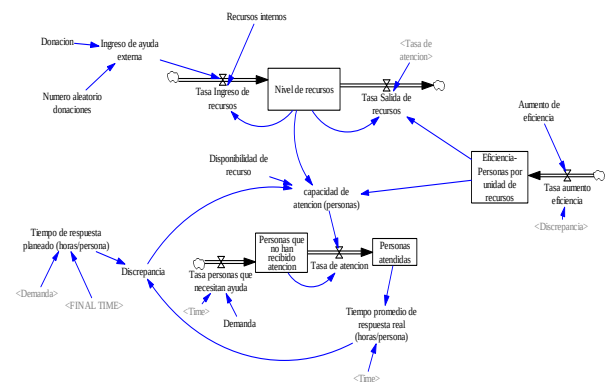


Figura 3. Diagrama Forrester del sistema de atención humanitaria

Se simuló 72 horas inmediatas a la ocurrencia del desastre. A continuación se muestran las ecuaciones en forma Forrester del modelo dinámico, para las cuales se utilizarán las siglas de la tabla 1:

Tabla 1. Siglas del modelo para las ecuaciones Forrester

Sigla	Nombre de la variable
NR	Nivel de recursos
NPNA	Personas que no han recibido atención
NPA	Personas atendidas
NEFI	Eficiencia-Personas por unidad de recursos
TIR	Tasa Ingreso de recursos
TSR	Tasa Salida de recursos
TPNA	Tasa personas que necesitan ayuda
TPA	Tasa de atención

TAEFI	Tasa aumento de eficiencia
IAE	Ingreso de ayuda externa
AD	Numero aleatorio donaciones
CAP	Capacidad de atención (personas)
DIS	Discrepancia
TIRP	Tiempo de respuesta planeado (horas/persona)
TIRR	Tiempo promedio de respuesta real (horas/persona)
Don	Donación
RI	Recursos Internos
DR	Disponibilidad de recurso
Dem	Demanda
AEFI	Aumento de eficiencia

Las siguientes ecuaciones y constantes fueron las utilizadas para la modelación del sistema:

Ecuaciones de Nivel

$$NR_K = NR_J + (TIR_{JK} - TSR_{JK}) * DT$$

$$NPNA_K = NPNA_J + (TPNA_{JK} - TPA_{JK}) * DT$$

$$PA_K = PA_J + TPA_{JK} * DT$$

$$NEFI_K = NEFI_J + TAEFI_{JK} * DT$$

Ecuaciones de Tasa

$$TIR_{JK} = si (NR_J < RI * 0.3, SMOOTH(IAE, 5), 0)$$

$$TSR_{JK} = MIN \left(\frac{TPNA_{JK}}{NEFI_J}, NR_J \right)$$

$$TPNA_{JK} = si(Time = 0, Dem, 0)$$

$$TPA_{JK} = MIN(NPNA_J, CAP)$$

$$TAEFI_{JK} = AEFI * (SMOOTH(DIS, 72))$$

Ecuaciones de variables auxiliares

$$IAE = AD_J * Don$$

$$AD_J = RANDOM\ UNIFORM(0, 1, 0.5)$$

$$CAP_J = si\ NR_J > DR_J, DR_J * NEFI_J, NR_J * NEFI_J$$

$$TIRP = FINAL\ TIME * Dem$$

$$TIRR_J = Time / NPA_J$$

$$DR_J = f(discrepancia)$$

Constantes y condiciones iniciales

$$Don = 100$$

$$RI = 3500$$

$$Dem\ inicial = 6000$$

$$AEFI = 0$$

$$NEFI = 0,6$$

4. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

Se realizó la simulación del modelo en tres escenarios. En el primero escenario se simuló el comportamiento del sistema en condiciones iniciales, es decir, AEFI= 0 que significa que no se realizó inversión en el aumento de la eficiencia. La figura 4 y figura 5 muestran el comportamiento de algunas variables del sistema.

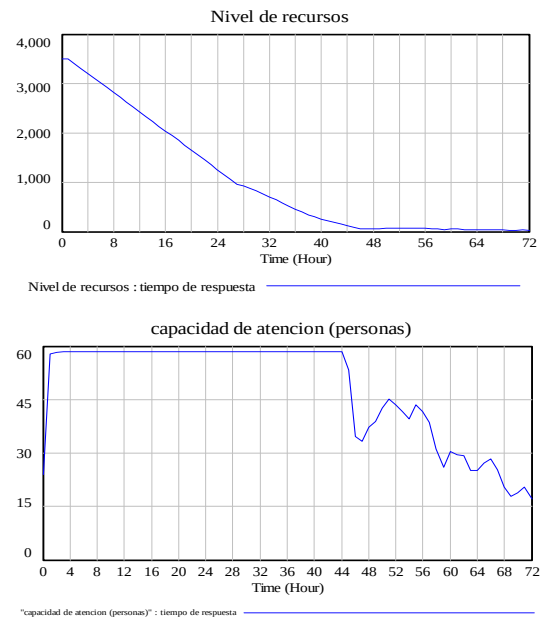


Figura 4. Nivel de recursos y capacidad de atención sin inversión en eficiencia

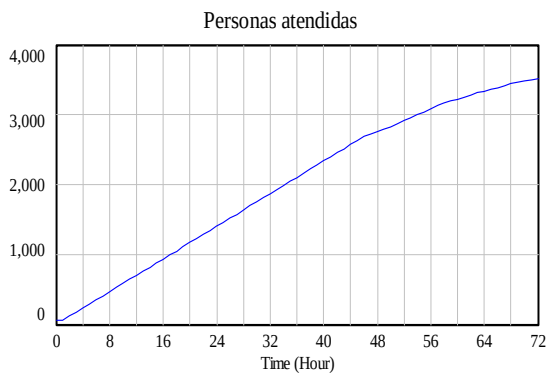
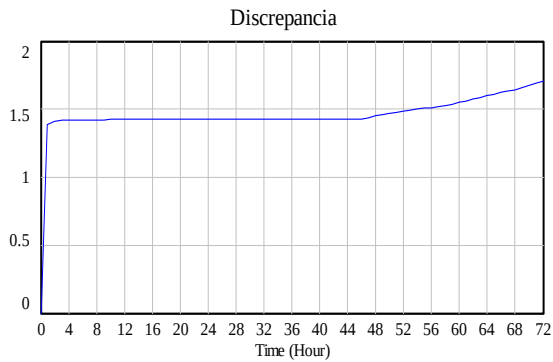


Figura 5. Discrepancia y personas atendidas sin inversión en eficiencia

Se puede observar que al no haber inversión en el aumento de la eficiencia del sistema, en la hora 45 los recursos ya son insuficientes, lo que provoca una disminución en la capacidad de atención, haciendo también que la discrepancia en los tiempos de respuesta comience a aumentar. En estas condiciones la cantidad de personas atendidas en las primeras 72 horas es de 3521 y el tiempo promedio de respuesta es 0,0173 horas (1,38 minutos por persona).

Si se realiza inversión en el aumento de la capacidad del sistema con $AEFI = 0.01$, como un segundo escenario, donde se si se realiza inversión en el aumento de la eficiencia del sistema, pero no antes del desastre sino durante la ocurrencia, se producen los resultados de la figura 6 y la figura 7:

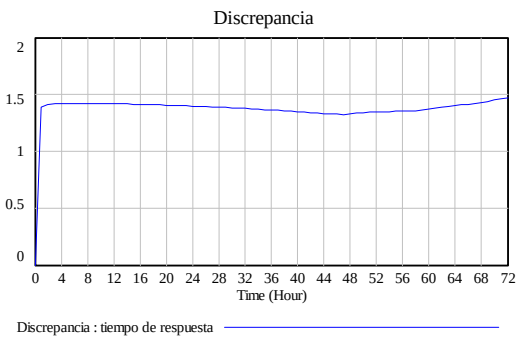
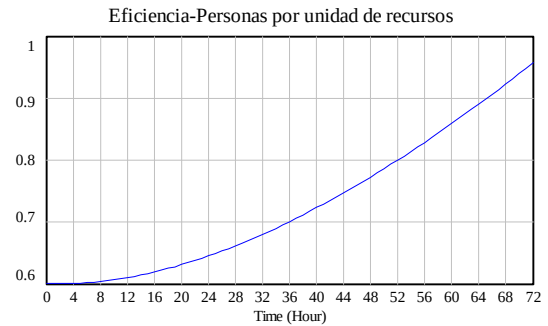


Figura 6. Eficiencia y discrepancia con inversión en aumento de eficiencia durante la ocurrencia del desastre

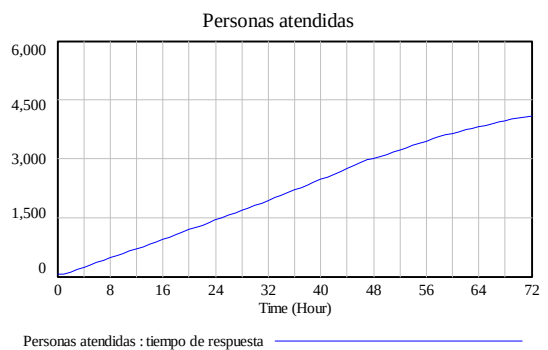
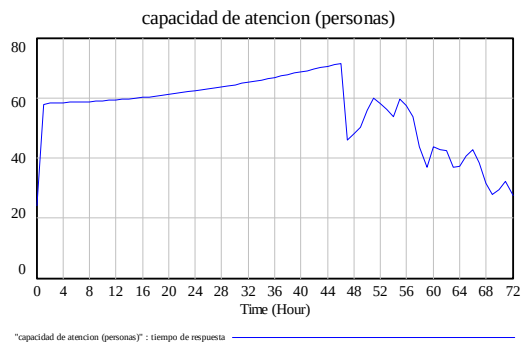


Figura 7. Capacidad de atención y personas atendidas con inversión en aumento de eficiencia durante la ocurrencia del desastre

Se puede observar que al invertir en la eficiencia del sistema el comportamiento del nivel de recursos continua siendo el mismo, pero la capacidad de atención aumenta hasta el tiempo 44, tiempo en el que los recursos se vuelven insuficientes, por lo que la discrepancia al comienzo disminuye pero a partir de la hora 48 comienza a aumentar debido a que la capacidad de atención disminuye. En estas condiciones la cantidad de personas atendidas es de 4088 y el tiempo de respuesta promedio es de 0,01636 horas por persona.

En el tercer escenario se realiza inversión en el aumento de la eficiencia antes de la ocurrencia del desastre, durante la etapa de preparación del ciclo del desastre [18], es decir, si la eficiencia del sistema (NEFI) fuera igual a 1,1 en el momento que ocurre el desastre y no 0,6 como en los escenarios anteriores, y además no se realiza inversión durante el mismo, se puede observar que se alcanzan a atender las 6000 personas durante las 72 primeras horas del desastre con los recursos iniciales y manteniendo la misma cantidad de donaciones que en los escenarios anteriores, siendo el tiempo de respuesta promedio de 0,0115 horas por persona, menor al tiempo planeado. El comportamiento de algunas de las variables Nivel de Recursos y Personas Atendidas se puede ver en la figura 8.

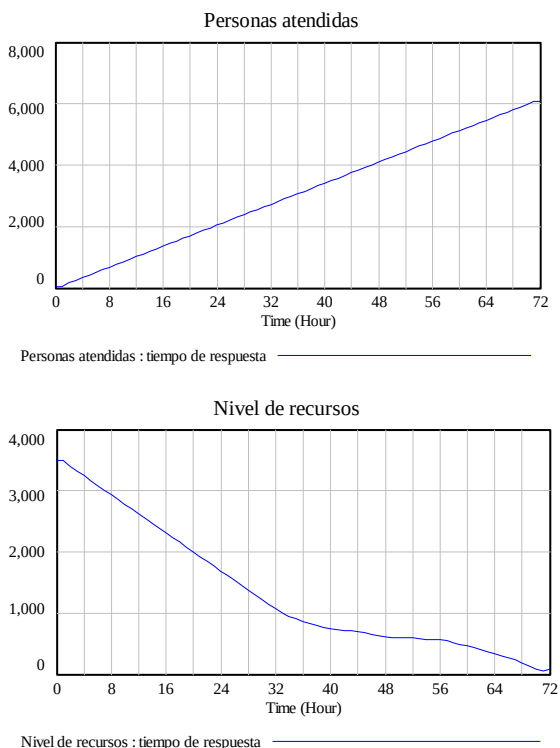


Figura 8. Personas atendidas y Nivel de recursos con inversión en aumento de eficiencia durante la etapa de preparación del ciclo del desastre.

También se pudo observar en las simulaciones realizadas que aumentando la eficiencia antes del desastre en un nivel más alto y utilizando menos recursos, es decir, haciendo un balance entre la inversión en recursos para la atención y la inversión en el aumento de eficiencia, es posible atender al total de personas en un menor tiempo.

Por ejemplo si aumentamos a 1,5 la eficiencia del sistema (NEFI), antes del desastre se observa que con 2500 unidades de recurso se atienden las 6000 personas en las primeras 62 horas, con un promedio de tiempo de respuesta de 0,615 minutos por persona, menor al tiempo planeado, como se observa en la siguiente la figura 9.

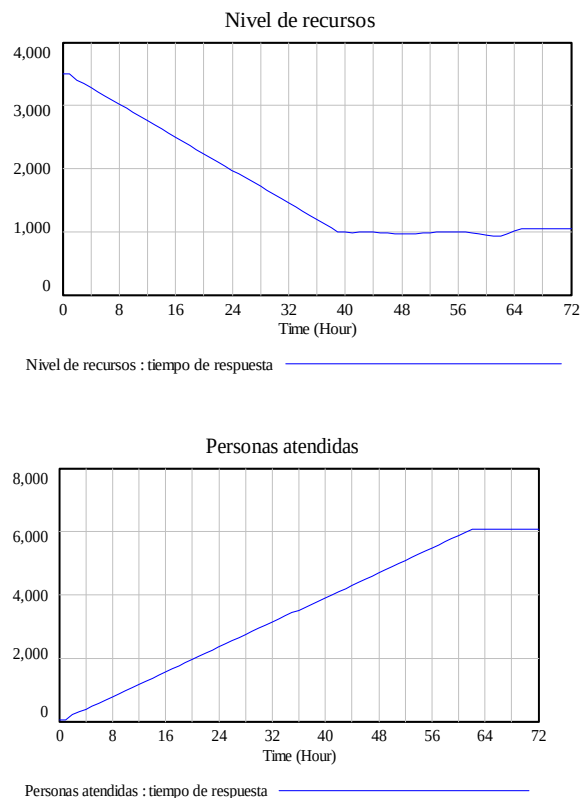


Figura 9. Nivel de recursos y personas atendidas con mayor inversión en aumento de eficiencia durante la etapa de preparación del ciclo del desastre.

5. CONCLUSIONES

La dinámica de sistemas es una metodología útil para modelar y comprender el comportamiento complejo del sistema logístico humanitario y se asimila al comportamiento del arquetipo "Growth and Underinvestment" en cuanto a la relación entre recursos, eficiencia y tiempo de respuesta. La comprensión de este comportamiento es útil para la generación de políticas asociadas a la inversión en recursos y/o eficiencia del sistema, antes y durante el desastre, generando un marco importante para la toma de decisiones a nivel estratégico.

La experimentación realizada muestra que la inversión en la eficiencia del sistema en la etapa anterior a la ocurrencia del desastre (etapa de preparación), disminuye los tiempos promedio de respuesta en la atención del mismo, lo que se puede traducir en la disminución de víctimas y en el aumento del bienestar de la población afectada, esto debido a que el sistema se encuentra mejor preparado y no se expone a las demoras que se producen si la capacidad de atención del sistema no es suficiente para la atención. Ya que al ser la capacidad del sistema insuficiente, el sistema va a tender a disminuir la discrepancia en la atención de víctimas, utilizando más recursos de los planeados, generando que estos sean insuficientes en menor tiempo y la atención de víctimas mientras llegan los recursos sea menor.

Por lo tanto estas políticas de inversión deben ir asociadas a un equilibrio entre la inversión en recursos para la atención (suministros, donaciones, materiales, medios de transporte, equipos de socorro, etc) y las acciones encaminadas a aumentar la eficiencia en la atención tales como capacitación, entrenamiento, inversión en sistemas de información, estrategias de coordinación entre organizaciones, pre posicionamiento de almacenes y centros de distribución, educación a la comunidad, etc.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Van Wassenhove, L. N. *Blackett memorial lecture humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear*. Journal of the Operational Research Society, 57(5), 2006, 475-489.
- [2] Thomas, A. and Kopczak, L. "From logistics to supply chain management. The path forward in the humanitarian sector", Fritz Institute, 2005, disponible en: www.fritzinstitute.org/PDFs/WhitePaper/FromLogistics_o.pdf. Extraído 29 de Septiembre de 2010.
- [3] Kovács, G., & Spens, K. M. *Humanitarian logistics in disaster relief operations*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management , 37 (2), 2007, 99-117.
- [4] Oloruntoba, R. *A wave of destruction and the waves of relief: Issues, challenges and strategies*. Disaster Prevention and Management, 14(4), 2005, 506-521.
- [5] Oloruntoba, R., & Gray, R. *Humanitarian aid: an agile supply chain?* Supply Chain Management , 11 (2), 2006,115-120.
- [6] Kovacs, G., and Spens, K.M. *Humanitarian logistics revisited*. En J. S. Arlbjörn, A. Halldórsson, M. Jahre & K. Spens (Eds.). Northern lights in logistics and supply chain management, 2008, (pp. 217-232). Copenhagen: Copenhagen Business School Press.
- [7] Pettit, S and Beresford, A. *Critical success factors in the context of humanitarian aid supply chains*. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 39 (6), 2009, pp. 450-468.
- [8] Chandes, J., & Paché, G. Investigating humanitarian logistics issues: From operations management to strategic action. Journal of Manufacturing Technology Management, 21(3), 2010, 320-340.
- [9] Chia, E.S, *Engineering disaster relief*. IEEE Technology and Society Magazine (Fall), 2007, 24-29.
- [10] Hamilton, J. D., & Murphy, P. R. *Operational-Level Analysis: DoD's Strategic Mobility and Logistics Support to the Homeland security*. Air Force Journal of Logistics , 30 (4), 2007,92-109.
- [11] Jahre, M., Jensen, L. -, & Listou, T. *Theory development in humanitarian logistics: A framework and three cases*. Management Research News, 32(11), 2009,1008-1023.
- [12] Gonçalves, P. *System Dynamics Modeling of Humanitarian Relief Operations*. MIT Sloan School of Management, Working Paper 4704-08, 2008. disponible en: <http://ssrn.com/abstract=1139817>. Extraído 29 marzo de 2011.
- [13] Forrester, J. *Industrial Dynamics*. Ed. Pegasus communications, M.I.T. Press, Cambridge, 1961.
- [14] Sterman, J.D. *Business Dynamics*. Ed. Pegasus communications, M.I.T. Press, Cambridge, 1961.
- [15] Besiou, M., Stapleton, O., Van Wassenhove, L. N. *Exploring the Known and the Unknown: Future Possibilities of System Dynamics for Humanitarian Operations*. INSEAD, Faculty & Research, Working Paper, 2010, pp.1-31, diponible en: <http://www.insead.edu/facultyresearch/research/doc.cfm?did=45182>. Extraído 29 de marzo de 2011.
- [16] Cuervo, R., Díaz, F., Namen, I., Palacio, C., Sierra, C. *Humanitarian crisis: when supply chains Really matter*. 28th International Conference of the System Dynamics Society, 2010, pp.1-36.
- [17] Senge, P. *The Fifth Discipline*. New York: Doubleday Currency. 1990.
- [18] Tomasini, R., & Wassenhove, L. V. *Humanitarian Logistics*. Palgrave Macmillan, (2009), pp.44-47.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelado del Mecanismo de Desarrollo Limpio en la Unión Europea

Walter D. Zuluaga, Ing.	Laura M. Cárdenas, M.Sc.	Carlos J. Franco, PhD.	Isaac Dyner, PhD.
Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín	Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín	Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín	Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
wdzuluagaicar@unal.edu.co	lmcardenasa@unal.edu.co	cjfranco@unal.edu.co	idyner@unal.edu.co

RESUMEN

El presente trabajo se hace con el objetivo de estudiar la problemática del Cambio Climático a través del modelado en Dinámica de Sistemas del Ciclo de Proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), instaurado en el marco del Protocolo de Kyoto (PK) y el mercado de Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Se estudia la formación del precio del CER, su interacción con la oferta de CER's debida a proyectos MDL, y la demanda concentrada principalmente por los países de la Unión Europea. De igual manera, se aborda el análisis de los impactos generados a consecuencia del incremento o reducción que pueda tener en el mercado de Bonos de Carbono el precio del CER. Se plantea una hipótesis dinámica del estudio antes mencionado para un país de la Unión Europea especificado por escala del proyecto.

Palabras Claves

Mercado de Carbono, Mecanismo de Desarrollo Limpio, Reducciones Certificadas de Emisiones, Dinámica de Sistemas.

ABSTRACT

This work is done with the aim of studying the problem of climate change through the system dynamics modeling in the market of Certified Emission Reductions (CER) and the Project Cycle Clean Development Mechanism (CDM), established in under the Kyoto Protocol (KP). We study the formation of the price of CER and its interaction with the supply of CER's resulting from CDM projects and mainly concentrated demand for European Union countries.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Similarly, we show the analysis of the impacts generated for the increase or reduction generated for on the Carbon Credit market, price of CER's. We propose a dynamic hypothesis of the above study for a European Union country level specified by the project.

Keywords

Carbon Market, Clean Development Mechanism, Certified Emission Reductions, System Dynamics.

1. INTRODUCTION

A raíz, del proceso de industrialización que surgió en el siglo XVIII en el cual se difundió la utilización de combustibles fósiles como método de obtención de energía, y el desarrollo de las actividades humanas que en los últimos años han generado un aumento en la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, en la actualidad se hace evidente que el planeta está experimentando un calentamiento global acelerado, el cual se ha convertido en uno de los principales problemas dominantes en nuestro tiempo.

Reconocidas organizaciones en todo el mundo, han recopilado pruebas contundentes que revelan el grave daño sobre el planeta, con repercusiones drásticas sobre las personas, las economías y los ecosistemas en todo el mundo. Sin excepción alguna todas las naciones y regiones del planeta experimentan jornadas de calor más intensas, sequías prolongadas, descongelamiento de los glaciares, temporadas de lluvias con tormentas más agrestes, huracanes e inundaciones sin precedentes (Comisión Europea Dirección General de Medio Ambiente, 2006).

El cambio climático es provocado por un aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera planetaria. Estos gases llegan a la atmósfera como consecuencia de fenómenos naturales y actividades propias de los humanos como son: generación de energía obtenida de combustibles fósiles, procesos industriales, utilización de electrodomésticos en el hogar, al igual que la producción agrícola y la deforestación (Convención Marco sobre Cambio Climático, 2005).

El GEI predominante es el Dióxido de Carbono (CO₂), que en los países desarrollados explicaba el 81% de las emisiones en 2001; a él habría que sumar el 6% del óxido nítrico, el 10% del metano y el 3% de los fluorocarbonos (Ministerio del Medio Ambiente Español, 2002).

Se prevé que los próximos cincuenta años sea un período de creciente acumulación de GEI en la atmósfera y como consecuencia se produzca un aumento de las temperaturas en todo el planeta en caso de no reducir las emisiones de CO₂ y otros GEI, por parte de todos los países en el mundo.

Con el objetivo de controlar y reducir las emisiones de GEI a la atmósfera, entró en vigor para marzo de 1994 la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)*, organismo constituido como la máxima autoridad en el tema de cambio climático a nivel mundial, congregando a 192 países de todo el mundo.

Uno de los pasos más importantes hacia la Convención fue el establecimiento en 1988 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, quienes son los encargados de dar conocimiento a la opinión mundial, acerca de los cambios en el clima, y sus consecuencias a corto y largo plazo.

La CMNUCC con el propósito de comprometer de manera eficaz a los países que para 1990 eran considerados desarrollados, con la reducción de emisiones de GEI, se estableció en 1997, el Protocolo de Kyoto (PK).

El protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional, donde los países industrializados se comprometen a reducir sus emisiones colectivas de GEI, por lo menos en un 5% respecto a las emisiones de 1990. Para lograr dicha meta, los diferentes países tendrán un período de tiempo, comprendido entre el año 2008 al 2012, período denominado “primer período de compromiso” (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2004).

En la Comunidad Europea se acordó aceptar un compromiso de reducción conjunta fijado en un 8% de las emisiones base de GEI del año 1990 para este período, adquirido independientemente del éxito de la ratificación del PK, al igual que se acordó la creación de un mercado europeo de derechos de emisión de GEI, en el cual se transan, entre otros CER's o también conocidos como bonos de carbono, los cuales equivalen a una tonelada de CO₂, y son válidos para cumplir con los compromisos adquiridos por cada país miembro de la CE, con una cuota que es limitada de acuerdo a las directivas de cada país miembro de la Comunidad Europea (Ministerio del Medio Ambiente Español, 2007).

Tenemos que la Comunidad Europea, a pesar de contribuir con sólo el 24,2% del total mundial de emisiones anuales expulsadas al ambiente, con respecto a los niveles de emisiones registrados en 1990 (Ministerio del Medio Ambiente Español, 1997), está realizando los mayores esfuerzos para la disminución de sus índices de emisión, en parte, porque es consciente de la gran responsabilidad por la emisión de GEI acumuladas en la atmósfera en las últimas décadas. Es por eso que apostaron al importante compromiso de reducción de emisiones en el período 2008-2012 que está por concluir y para el período 2012-2020, en el cual ratificaron estar dispuestos a continuar con la política de reducción, sin importar las decisiones tomadas por los demás países por fuera de la Comunidad Europea, y la ratificación del PK. Consecuentemente con el compromiso de la Comunidad

Europea en materia ambiental, tenemos la importante relevancia asociada al Esquema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU-ETS), que da cuenta del 80% en volumen de transacciones con respecto al mercado global de carbono en 2010, y se convierte en una herramienta primordial en la tarea de reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Klepper, 2011).

Con el fin de facilitar tales reducciones de emisiones a la atmósfera y cumplir con las metas establecidas, se crean los tres mecanismos flexibles, con los cuales se pretende facilitar a los países comprometidos con el PK, la reducción de sus emisiones de manera más eficaz y sus costos; al tiempo que, se contribuye con las políticas de crecimiento sostenible en países en vía de desarrollo (Comisión Europea, 2008).

Estos mecanismos son: Comercio de Emisiones, Implementación Conjunta (IC) y MDL, este último cobra relevancia para este estudio (Aragón, 2008).

El MDL es una herramienta instituida en el marco del PK, a través del cual los países desarrollados pueden invertir en proyectos de reducción de las emisiones, ya sea en eficiencia energética, energía renovable, forestación o reforestación en países en desarrollo y recibir créditos o también conocidos como bonos de carbono, por la reducción o eliminación de emisiones conseguida. Dichos proyectos contribuyen al desarrollo sostenible del país de acogida y generan derechos de emisión o CER's, que pueden ser utilizados por los países con la obligación de reducir emisiones para el cumplimiento de sus objetivos de emisión a un bajo costo, debido a la baja inversión económica requerida para lograr un avance significativo en implementación o adecuación de plantas energéticas, o en adquisición de recursos necesarios para llevar a cabo proyectos en países en vía de desarrollo (Comisión Europea, 2008).

El MDL ofrece la oportunidad de movilizar fondos adicionales para inversiones en países en desarrollo, conocimientos especializados y transferencia de tecnologías indispensables, sobre todo para el uso de energías renovables y el aumento en la eficiencia energética (Seres, 2009).

Tenemos que para los CER's generados por proyectos del MDL, existen dos diferenciaciones dependiendo del momento del Ciclo de Proyecto en el que se transan. Se da la posibilidad de negociar CER's sin que estos se hayan expedido por la Junta Ejecutiva del MDL, conocido como CER primario, y de acuerdo al nivel de riesgo que represente éste, se estima un precio de negociación. En caso de transar un CER que ya fue expedido por la Junta Ejecutiva pertenecerá al mercado de CER secundario y para éste no se tendrá en cuenta nivel de riesgo, ya que el bono será entregado al momento de la negociación.

Los proyectos postulados para generar CER's, deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Reducción de un GEI.
- No tenga ningún impacto negativo de carácter ambiental o social en el país de acogida.
- Reducción de emisiones consideradas adicionales a las que se producirían en ausencia de la actividad del proyecto.
- Demostrar beneficios reales, mensurables y de largo plazo en relación con la mitigación de los GEI.

- Contribuir con el desarrollo sostenible del país.

- Ser desarrollados en un país que haya ratificado el PK y que posea una Autoridad Nacional Designada (Parlamento Europeo, 2009).

Luego de cumplir con los anteriores requisitos debe seguir un conjunto de pasos establecidos por la CMNUCC en el Ciclo de Proyecto, dentro del que se enmarcan:

- Paso 1, Realización del Documento de Diseño del Proyecto del MDL: en el que se informa sobre la actividad que se desarrollará en el proyecto, la duración del proyecto con su correspondiente período de acreditación, la aplicación de la metodología de línea base escogida para el proyecto con el plan de monitoreo que se empleará, la cantidad estimada en toneladas de GEI no emitidas que serán convertidas a emisiones en toneladas de CO₂ equivalentes en caso de reducir un gas diferente al CO₂ e impactos ambientales que conlleva la realización del proyecto (United Nations Environment Programme, 2007).

- Paso 2, Aprobación por parte de la Autoridad Nacional Designada (AND): en la que se evalúa si cumple con los objetivos nacionales de desarrollo sostenible con el fin de determinar la factibilidad del proyecto dentro del territorio anfitrión (United Nations Environment Programme, 2007).

- Paso 3, Validación de la actividad del proyecto: se evalúa de manera independiente la actividad de proyecto, por parte de la Entidad Operacional Designada (DOE por sus siglas en inglés), con el fin de comprobar si cumple con los requisitos señalados por el MDL (United Nations Environment Programme, 2007).

- Paso 4, Registro del proyecto: por medio del cual se da la aceptación oficial de la Junta Ejecutiva del MDL, que es la comisión designada por la CMNUCC, encargada de dar las directrices y realizar el control a nivel mundial en materia de MDL (United Nations Environment Programme, 2007).

- Paso 5, Verificación/Certificación, la verificación es el examen periódico y la determinación posterior por la DOE, de las reducciones observadas de emisiones antropogénicas que se han producido como resultado de una actividad de proyecto del MDL registrada. La certificación es la garantía escrita por la DOE que durante un período determinado una actividad de proyecto consiguió las reducciones de las emisiones antropogénicas estimadas en el Documento de Diseño del Proyecto (United Nations Environment Programme, 2007).

- Paso 6, Emisión de CER's: la Junta Ejecutiva del MDL expide la cantidad de certificados equivalentes a las reducciones logradas por la actividad del proyecto, constituidas en CER's, que pueden ser transadas en el mercado de carbono o utilizadas para el cumplimiento de los objetivos de reducción por parte de un país o firma con la obligación de disminución de emisiones (United Nations Environment Programme, 2007).

La anterior serie de pasos puede estimarse como una barrera significativa para la realización de proyectos del MDL. Sin embargo, el margen de proyectos aprobados por la Junta Ejecutiva del MDL, demuestra que no es una barrera decisiva a la hora de emprender la realización de éstos.

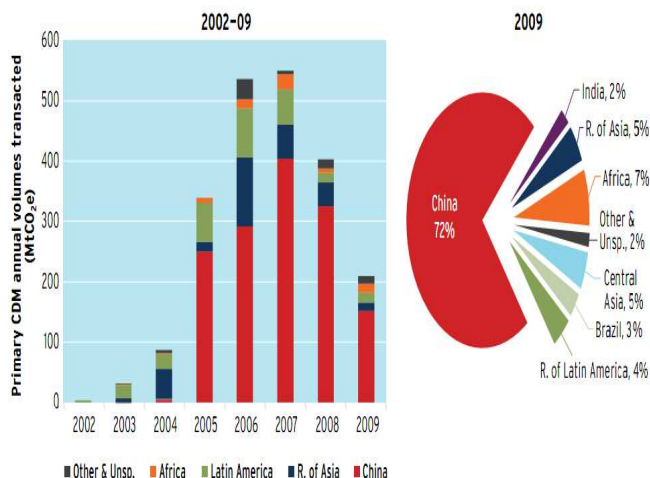


Figura 1. Oferta mundial de CER's primario (World Bank Institute, 2010)

Con el aumento en la oferta de CER's, debido al creciente número de proyectos del MDL implementados principalmente en China con un 72%, con respecto a la oferta mundial, (Figura1). El auge del MDL ha aumentado de manera substancial, permitiendo a los países en vía de desarrollo, obtener recursos que permitan una eficiencia en sus procesos y consecuente estabilización de las emisiones.

El volumen de transacciones dado en 2009, para el mercado de CER's dentro del EU-ETS alcanzó un 86% del total transado en el mundo, constituyendo este esquema, el que más bonos de carbono generados del MDL transa anualmente (Seres, 2009).

El estudio se centra en la Unión Europea, debido al flujo de capital importante que se transa de CER's en éste, ya que son ellos los que en la actualidad están demandando mayor cantidad de bonos de carbono para el cumplimiento de sus cuotas de asignación para el primer período de compromiso del PK (figura 2).

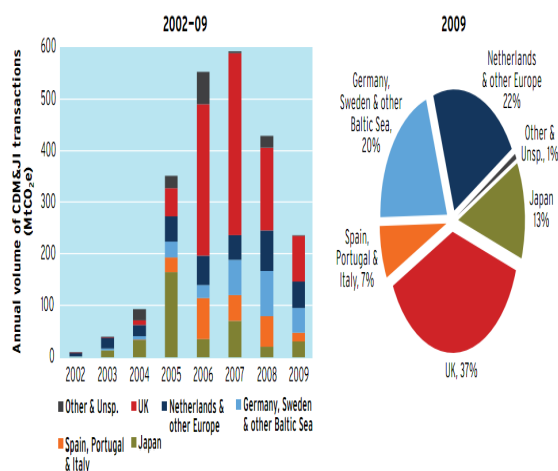


Figura 2. Volumen transado para MDL e IC (World Bank Institute, 2010).

El entorno de proyectos MDL dentro del EU-ETS, será representado para proyectos del sector eléctrico, debido a que el sector de generación eléctrica en la Unión Europea es el que más contribuye en las emisiones generadas dentro de la Unión Europea, como lo muestra la figura 3.

Greenhouse Gas Emissions (GHG)* by Sector: EU-27
(Shares of Total Emissions:)

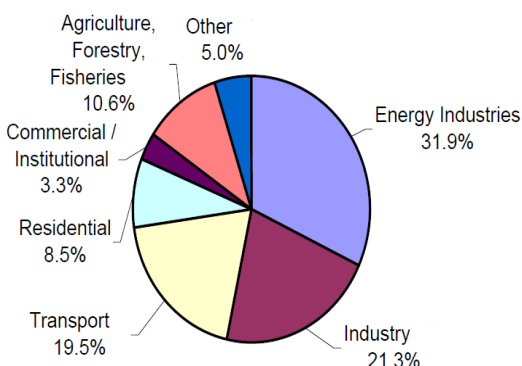


Figura 3. Emisiones de GEI por sectores para la Unión Europea (European Commission, 2010).

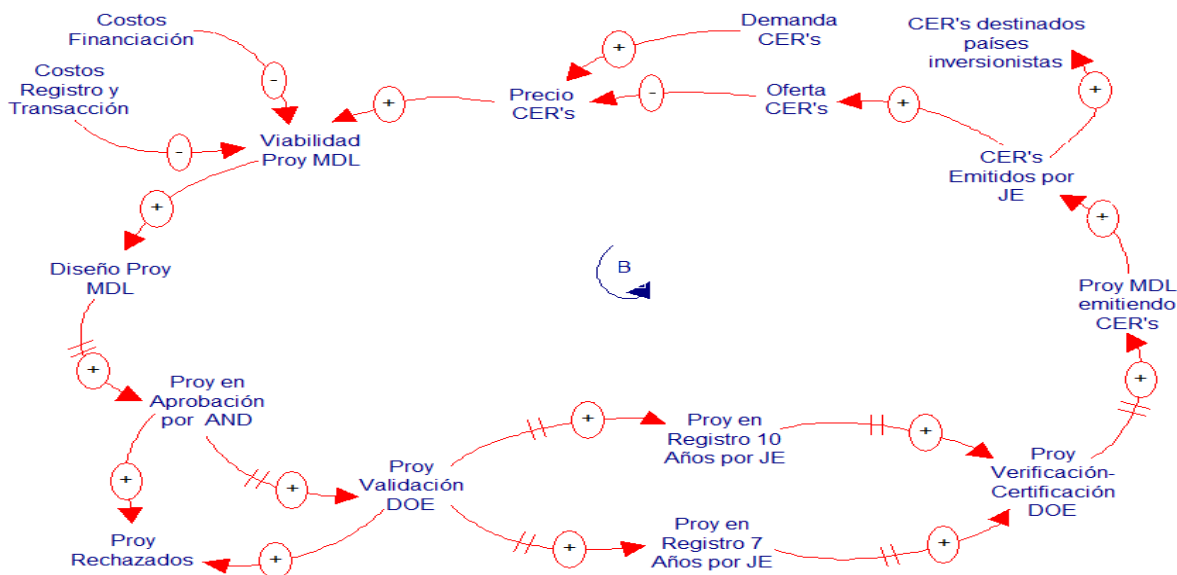


Figura 4. Hipótesis Dinámica del MDL

En el estudio de la hipótesis podemos definir tres segmentos que están enlazados dentro de la estructura del MDL, que son: el Ciclo de Proyecto del MDL, la formación del precio del CER y la viabilidad de los proyectos de acuerdo a sus costos, y dependiendo del comportamiento que pueda tener el precio del CER.

En el primer segmento tenemos el Ciclo de Proyecto del MDL, que comprende las fases por las que cada proyecto debe

2. ANÁLISIS DE REALIMENTACIÓN

Para el estudio del MDL dentro del EU ETS, y los elementos que hacen parte del entorno de éste, se plantean en una hipótesis dinámica que posibilite dar cuenta del sistema en su totalidad y la interacción dentro del MDL. A continuación se presenta dicha hipótesis dinámica.

2.1 Hipótesis Dinámica

La hipótesis dinámica que se presenta en la Figura 4, representa el esquema dentro del que se enmarca el MDL, el cual comprende desde el desarrollo de proyectos que generen CER's para ser transados dentro del EU-ETS, hasta la conformación del precio del CER, debido a la oferta generada por los proyectos MDL y la demanda por parte de un país o compañía de la UE.

transitar para ser aprobado por la Junta Ejecutiva del MDL, como proyecto del MDL y pueda expedir CER's.

Inicialmente, tenemos el Diseño del Proyecto, que es la fase en la que se concibe la actividad que desarrollará el proyecto y su metodología de línea base que será implementada, con el objetivo de lograr reducciones reales de emisiones de CO₂ a la atmósfera, teniendo en cuenta que éstas no se conseguirían en ausencia del proyecto.

Continúa la fase de aprobación y validación, por parte de la Autoridad Nacional Designada y la DOE, respectivamente; entidades que verifican el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible y de los requisitos estipulados por la Junta Ejecutiva del MDL para la aprobación de un proyecto.

En caso de recibir la aprobación y validación, se hará el correspondiente registro por la Junta Ejecutiva, como proyecto del MDL, por un período de acreditación que puede ser de 7 años con renovación posible en dos ocasiones más por el mismo período de años, o un período de acreditación de 10 años no renovable (United Nations Environment Programme, 2007).

La DOE se encarga luego, de la verificación de las emisiones que el proyecto reduzca por la ejecución de la actividad del proyecto, determinando un plan de verificación continuo, para establecer que las reducciones son reales y proceder a realizar el reporte a la Junta Ejecutiva de la cantidad de emisiones reducidas reales.

En la última fase del Ciclo de Proyecto, la Junta Ejecutiva del MDL realiza la correspondiente emisión de CER's lograda por

el proyecto, las cuales pueden tener como destino el mercado de carbono en el que se transen CER's o ser destinadas a países inversionistas que participaron en la financiación del proyecto MDL.

En el segundo segmento presentamos la formación del precio, que depende de una oferta dada por la cantidad de certificaciones logradas por los proyectos registrados ante la Junta Ejecutiva y una demanda que tenemos como exógena y constante de manera parcial. Con lo cual se define la estructura de definición del precio del CER.

En el tercer segmento encontramos la viabilidad de los proyectos, que de acuerdo al aumento o reducción en el precio del CER, puede generar que sea viable o no un proyecto, dependiendo del estudio de factibilidad, porque, se debe considerar que los costos de registro y transacción son muy altos, creando una barrera importante para la entrada de nuevos proyectos (Michaelowa, 2005).

Con el fin de ampliar el entendimiento del MDL, mostramos a continuación el Diagrama de Flujos y Niveles, (Figura 5).

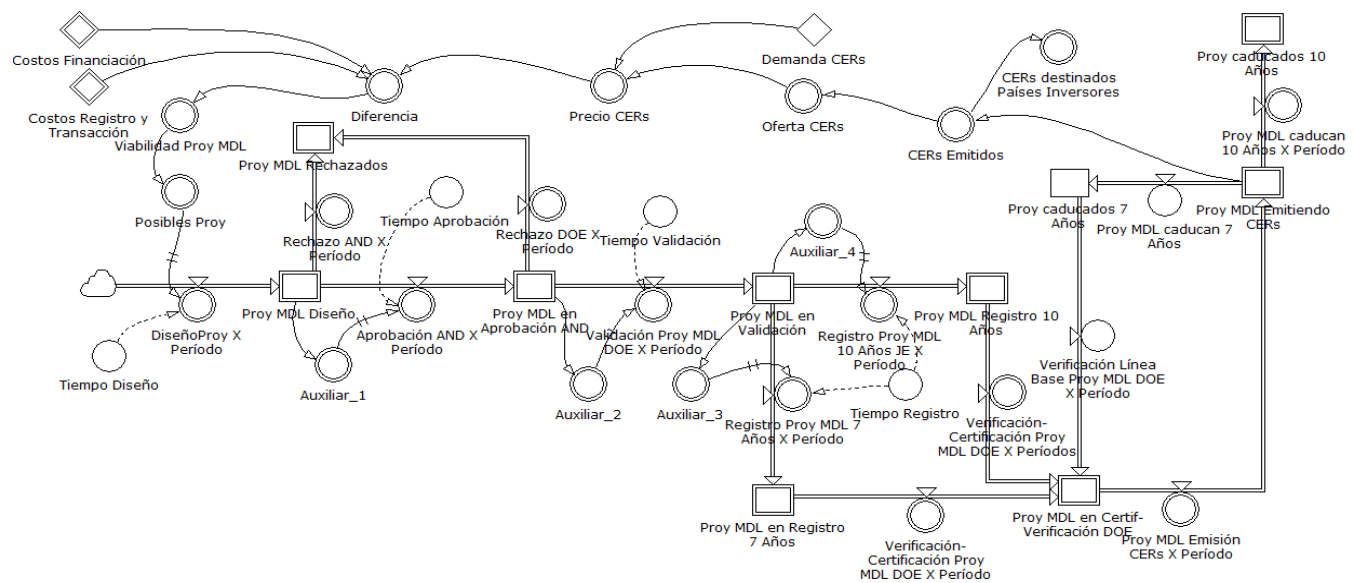


Figura 5. Diagrama Flujos y Niveles para MDL

Para el Diagrama de Flujos y Niveles realizamos una clasificación vectorial para los tipos de proyectos en 5 grupos, de acuerdo a la cantidad de emisiones de CO₂ que se reduzcan con la actividad del proyecto, determinando de esta manera 5 diferentes escalas de proyectos MDL, (Tabla 1). Ya que encontramos que los costos son fijados de acuerdo a la escala de reducción en la que se encuentra cada proyecto.

Tabla 1. Clasificación Proyectos por CO₂ reducido (United Nations Development Programme, 2006)

Clasificación por CO ₂ e reducido (Ton.)	
Grupo 1	<= 15.000
Grupo 2	15.000-50.000
Grupo 3	50.000-100.000
Grupo 4	100.000-200.000
Grupo 5	> 200.000

La clasificación de los proyectos se determina con el fin de establecer el costo marginal al que cada grupo reduce una tonelada de CO₂ y de esta manera lograr la fijación de un precio para el CER.

3. RESULTADOS ESPERADOS

Para la presentación de resultados esperados a partir de la estructura causal que planteamos en la hipótesis dinámica, nos apoyamos en el planteamiento de escenarios del Panel Intergubernamental de Cambio Climático o IPCC por sus siglas en inglés, conocido como “Special Report on Emissions Scenarios” o SRES. Los escenarios SRES fueron contruidos para explorar la futura evolución del entorno mundial, con especial referencia a la producción de GEI (IPCC, 2001).

Los escenarios surgen de destacar las características y dinámicas más determinantes en el estudio hecho en las principales regiones del mundo, donde los factores tenidos en cuenta para el estudio como: demográfico, social, político, económico, tecnológico, energético, uso del suelo, agrícola y desarrollo medio ambiental presentan una alta relevancia en la evolución posible que pueda tener estas regiones en las próximas décadas, ver Figura 6.

Se plantean cuatro líneas evolutivas, denominadas A1, A2, B1 B2. Las cuales describen las relaciones entre las fuerzas conductoras de las emisiones de GEI y su evolución durante el siglo XXI en las principales regiones del mundo.

Las cuatro líneas evolutivas combinan dos conjuntos de tendencias: el primer conjunto varía entre valores económicos y medios ambientales fuertes, el segundo entre la creciente globalización o creciente regionalización.

Se describen a continuación las cuatro líneas evolutivas en las cuales plantearemos los posibles resultados esperados de nuestra hipótesis dinámica, de acuerdo a los escenarios propuestos:

- A1: Esta línea evolutiva se plantea sobre un mundo futuro con muy rápido crecimiento económico, con un pico en el crecimiento poblacional que se da a mediados de siglo, y posteriormente desciende, con la introducción rápida de tecnologías nuevas y más eficientes. Los temas relevantes subyacentes son la convergencia entre regiones, aumento en capacidad e incremento en las interacciones culturales y sociales, con una reducción substancial en las diferencias de ingresos per cápita entre los individuos. Para esta línea evolutiva, se desarrollan tres tipos de escenarios que describen opciones alternativas de cambios tecnológicos en el sistema energético. Los tres tipos de escenarios se distinguen por tener un alto énfasis tecnológico con: intensidad en fuentes fósiles (A1FI), fuentes de energía no fósiles (A1T) y balance entre todas las fuentes de energía (A1B).

- A2: En ésta, se presenta un mundo más heterogéneo. Orientado hacia la autosuficiencia y preservación de las identidades regionales, con incrementos poblacionales continuos. El desarrollo económico es regionalizado orientado principalmente al crecimiento económico per cápita y cambio tecnológico más fragmentado y más lento que en otras líneas evolutivas.

- B1: Se tiene un mundo convergente con un mismo nivel poblacional a la línea A1 con pico a mediados del siglo, pero con un rápido cambio en las estructuras económicas hacia economías de servicios e información, con reducciones en consumo de materiales, con la introducción de tecnologías limpias y eficientes. El énfasis está en soluciones globales económicas, sociales y en sostenibilidad ambiental, incluyendo avances en equidad, pero sin iniciativas climáticas adicionales.

- B2: Esta línea esboza un mundo en el cual el énfasis está sobre soluciones locales en materia económica, social y sostenibilidad medio ambiental, con la población creciendo continuamente, pero a tasas más bajas que A2, y un nivel de desarrollo económico intermedio, más lento y con cambios tecnológicos más diversos que A1 y B1. El escenario está orientado hacia la protección ambiental y la equidad social, a nivel regional y local.

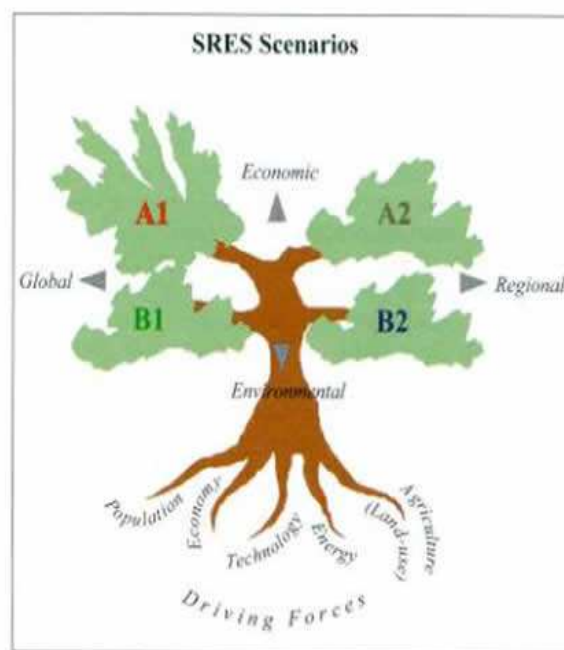


Figura 6. Diseño Esquemático de las cuatro líneas evolutivas del SRES(IPCC, 2001)

Los resultados esperados los clasificaremos de acuerdo a cada uno de los 6 escenarios definidos en el SRES y para el tercer período de compromiso de la UE que va de 2013-2020, período para el cual se espera que la demanda de bonos de carbono, sea jalonada por las emisiones de GEI que sean emitidas, ya sea influenciando un aumento o disminución en el precio de CER, dependiendo de la interacción que pueda darse entre los factores: población, economía, tecnología, energía, uso del suelo y agricultura, los cuales son determinantes en la evolución futura de estas emisiones, ver Figura 7.

	Precio CER					
	A1FI	A1T	A1B	A2	B1	B2
2012	↔	↔	↔	↔	↔	↔
2013	↔	↔	↔	↔	↔	↔
2014	↑	↔	↔	↔	↔	↔
2015	↑	↓	↔	↑	↓	↔
2016	↑	↓	↔	↑	↓	↓
2017	↑	↓	↑	↑	↓	↓
2018	↑	↓	↑	↑	↓	↓
2019	↑	↓	↑	↑	↓	↓
2020	↑	↔	↑	↑	↓	↓

Aumenta ↑
 Disminuye ↓
 Estable ↔

Figura 7. Resultados esperados para el precio del CER para el tercer período de compromiso de la UE.

Estos resultados son un análisis al que se llega, después de disponer de los datos con los cuales se planteó por parte del IPCC el SRES, en los que se proyectan emisiones de CO₂ hasta el año 2100 (IPCC, 2001). Se revisaron los datos correspondientes al período 2012-2020, en el cual estamos interesados simular y de allí se propusieron los resultados de la Figura 7.

4. CONCLUSIONES

Para concluir podemos decir que si se presenta un aumento en el precio del CER, ya sea por la baja oferta de CER's o un aumento en la demanda de estos, induce la viabilidad financiera de proyectos del MDL, incentivando la formulación de proyectos que a mediano plazo emitan CER's y con ello se logra estabilizar el precio a causa del ciclo de balance implicado en el diagrama causal. Pero con riesgos debido a que en el momento de vender los CER's, existe la posibilidad que muchos proyectos se ajustaran a condiciones similares y esto cree un efecto adverso al momento de la venta, ya que coinciden en el tiempo la emisión de CER's por muchos proyectos, ocasionando un aumento en la oferta y una caída en el precio, por tanto, se debe tener en cuenta los retardos que están asociados al ciclo de proyecto del MDL.

5. REFERENCIAS

- [1] Comisión Europea Dirección General de Medio Ambiente, "El Cambio Climático: Qué es? Introducción para Jóvenes", Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, ISBN 92-894-8911-1, pp 20, Luxemburgo, 2006.
- [2] Convención Marco sobre Cambio Climático, "Guía de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto", Oficina de publicaciones de la Secretaría de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, ISBN 92-9219-022-9, Bonn, Alemania, 2005.
- [3] Ministerio del Medio Ambiente Español, "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Los Diez Primeros Años", ISBN 92-9218-010-5, Bonn, Alemania, 2004.
- [4] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, CMNUCC. Para comprender el Cambio Climático: Guía Elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto.2002.
- [5] Ministerio del Medio Ambiente Español, "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: Unidos por el clima", ISBN 92-9219-046-6, Bonn, Alemania, 2007.
- [6] Ministerio del Medio Ambiente Español, "Actuaciones Públicas en Materia de Medio Ambiente". Medio Ambiente y Políticas Sectoriales. Madrid. 1997.
- [7] Klepper, G. "The future of the European Emission Trading System and the Clean Development Mechanism in a post-Kyoto world". Energy Economics. Volume 33. Pag 687-698. Kiel, Germany. 2011.
- [8] Comisión Europea, "Acción de la UE contra el cambio climático: El régimen de comercio de derechos de emisión de la UE", Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, ISBN 978-92-79-07955-9, Luxemburgo, 2008.
- [9] Aragón, H. "El Mercado del Carbono: construcción institucional, funcionamiento y perspectivas". Economía Informa, Num 354. 2008.
- [10] Seres, S., Haites, E., Murphy, K. "Analysis of technology transfer in CDM projects : An update". Energy Policy. Volume 37. Toronto. 2009.
- [12] Parlamento Europeo. "Directiva del Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea". Comunidades Europeas. Luxemburgo. 2009.
- [13] United Nations Environment Programme (UNEP) (2007). "Guidebook to Financing CDM Projects". 2007.
- [14] World Bank Institute. "State and Trends of the Carbon Market 2010". Washington DC. 2010.
- [15] European Commission. "EU Energy in Figures 2010". Directorate-General for Energy and Transport. 2010.
- [16] Michaelowa, A., Jotzo, F. "Transaction costs, institutional rigidities and the size of the Clean Development Mechanism". Climate Policy. Volume 33. Pag. 511-523. Hamburg. 2005.
- [17] United Nations Development Programme. "The Clean Development Mechanism: Chapter 5 Transaction Costs, Efficiency and Supportive Governance". 2006.
- [18] Intergubernamental Panel On Climate Change, "Third Assessment Report". Wembley, Reino Unido. 2001.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Dinámica del mercado laboral colombiano: un análisis de políticas de empleo aplicando dinámica de sistemas.

Colombian labor market dynamic: an analysis of employment policies using system dynamics.

Eduyn Ramiro
López Santana

Universidad Distrital Francisco

José de Caldas
Bogotá, Colombia
(571) 7641882

erlopezs@udistrital.edu.co

Adriana Alexandra
Ávila González

Universidad Distrital Francisco

José de Caldas
Bogotá, Colombia
(571) 2046315

goad67@gmail.edu.co

Germán Andrés
Méndez Giraldo

Universidad Distrital Francisco

José de Caldas
Bogotá, Colombia
(571) 3239300

gmendez@udistrital.edu.co

RESUMEN

Este documento presenta los resultados de una investigación desarrollada por el grupo de investigación Sistemas Expertos y Simulación (SES) en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Este muestra el desarrollo de un modelo del mercado laboral colombiano aplicando dinámica de sistemas, el cual se basa en el análisis de la dinámica entre la oferta y la demanda en un mercado laboral, buscando un mecanismo que permita la evaluación de políticas de empleo que ayuden a la reducción de problemas como el desempleo y la informalidad en el mercado laboral colombiano. Este trabajo permite la integración y aplicación de técnicas de modelamiento matemático como la simulación continua, el pensamiento sistémico, y técnicas de análisis de información sobre los sistemas sociales, donde su versatilidad y robustez ofrecen una ventaja para el entendimiento y análisis de estos sistemas complejos, y que permitirá a los analistas y demás interesados tener información valiosa al momento de tomar decisiones sobre las políticas a emplear en una situación determinada.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Palabras Clave

Desempleo, informalidad, mercado laboral, simulación, dinámica de sistemas.

ABSTRACT

This paper shows results of research developing in the Universidad Distrital Francisco José de Caldas by Expert Systems and Simulation Group (E.S.S.). This research shows the Colombian labor market model using system dynamics, which is based on analysis of the dynamics between supply and demand labor market, this model seeking a mechanism to allow assessment of employment policies to help reduce of unemployment and informality in Colombia labor market. In this research were used mathematical modeling techniques such as continuous simulation, systems thinking, and data analysis techniques on social systems, also its versatility and robustness are an advantage to understanding and analyzing of complex systems, and analysts and other interested parties may have valuable information to decisions making about policies to be used in a given situation.

Keywords

Unemployment, Informality, Labor Market, Simulation, System Dynamic.

1. INTRODUCCIÓN

La dinámica de un mercado laboral se puede interpretar como la dinámica entre una oferta y una demanda, así como los productos de consumo, bursátiles, monetarios, entre otros, [1], [9], y [16]. En este caso la dinámica explica la existencia de una oferta de empleo determinada por la participación de las personas en el mercado laboral en busca de un empleo, y la existencia de una demanda laboral determinada por las vacantes que genera el sistema productivo y que pueden ser ocupadas por las personas que ofrecen su fuerza de trabajo.

Dada esta situación, surge la necesidad de establecer un mecanismo que sirva para determinar cuál será el impacto de las políticas que se plantean hoy en el mañana, y con base en esto tomar una decisión. El modelamiento sistémico permite la representación de un sistema que posea características como complejidad, retroalimentación, relaciones no lineales, y que junto a la utilización de lenguajes de simulación continua permite la evaluación, análisis e identificación de políticas y su impacto, con la ventaja de poderlas expresar en un modelo que representa de una u otra forma la realidad, y no realizarlos directamente sobre el sistema.

Este documento está organizado en 6 partes incluyendo esta introducción. En el apartado 2 se presenta el marco de referencia sobre los problemas del mercado laboral. En el apartado 3 se muestra la metodología de modelamiento utilizada en la investigación. En el apartado 4 se muestra el modelo dinámico del mercado laboral, donde se desarrolla la descripción del sistema, el modelo causal, el modelo matemático y de simulación junto con sus principales resultados. En la sección 5 se presenta el análisis de políticas y estrategias en el sistema a través del planteamiento de escenarios. En el apartado 6 se presentan las principales conclusiones del modelo desarrollado y el análisis de políticas.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Problemas del Mercado Laboral

Desde finales de la década de 1990, el panorama laboral para los países de América Latina se ha caracterizado por elevadas tasas de desempleo y de informalidad, además por bajos ingresos promedio, creciente desprotección social y una significativa debilidad de las organizaciones sindicales y del diálogo social. Para los problemas del empleo se han desarrollado varios enfoques que tratan de considerar al desempleo como un problema económico, demográfico y sociológico. El primero considera la existencia de un mercado laboral, según el cual se establece la fuerza laboral como una mercancía, la cual tiene un precio (salario), una cantidad tranzada es el empleo y un excedente que es el desempleo, y además estos se determinan por una oferta y una demanda generadas de manera independiente por diferentes factores económicos, [9].

Para investigadores como Lora [10], López [9], el desempleo en Colombia es un problema de demanda y de oferta, entendiendo la demanda como la necesidad de las organizaciones productivas de requerir mano de obra (trabajadores) y la oferta como la cantidad de población disponible para trabajar; además afirman que este ha sido el resultado de un aumento en la oferta de mano de obra combinado con la disminución de la demanda de trabajadores, acompañado problemas de crecimiento económico, un proceso de apertura económica, una elevada situación de violencia y conflicto armado, narcotráfico, desplazamiento, y otras situaciones sociales problemáticas, que han contribuido al decaimiento de la calidad de vida y bienestar de la población Colombiana.

Según Bertola en su ponencia “Aspectos Agregados y desagregados del desempleo” [16] el desempleo “es definido (y medido) como la condición (y número) de trabajadores que están dispuestos a trabajar a los salarios prevalentes y están buscando, pero no encuentran, empleo. Detrás de una tasa de desempleo agregada, se puede encontrar diferencias en lo que respecta a configuraciones macroeconómicas y condiciones cíclicas propias del mercado laboral como lo son: participación en la fuerza laboral, tasas de incidencia del género y la edad, la desigualdad salarial, la dispersión regional y sectorial del empleo, y otros indicadores desglosados de los resultados del mercado laboral. A su vez, los resultados del mercado de trabajo están conformados por una amplia variedad de políticas gubernamentales y características institucionales, tales como los salarios mínimos, las prestaciones por desempleo, los acuerdos contractuales, y los impuestos, etc.”

Por otro lado se tienen otras definiciones como la de Rodríguez [13] que en sus Tesis doctoral afirma: “Los vendedores de bienes y servicios producen por debajo de sus posibilidades porque creen que el mercado es incapaz de absorber cantidades superiores. En consecuencia, su demanda de trabajo resulta insuficiente para absorber toda la oferta existente. Hay desempleo. Y el desempleo reduce la demanda de bienes y servicios. De este modo se confirman las previsiones de los oferentes, que siguen produciendo por debajo de sus posibilidades y siguen manteniendo una demanda de trabajo insuficiente para dar empleo a todas las personas que lo desean.”

Para Marx, “la fuerza de trabajo crece, por término medio, más rápidamente que la demanda de trabajo y esto tiende a generar un volumen de desempleo cada vez mayor”. Con lo cual se refiere a que es un problema de aumento de oferta de brazos, con una respuesta no proporcional de la demanda de brazos.

Los economistas han descrito las causas del desempleo como Friccionales, Temporales, Estructurales y Cíclicas, de esta misma manera también se ha generado una tipología del desempleo, [9]. El desempleo friccional se produce porque los trabajadores que están buscando un empleo no lo encuentran de inmediato; mientras que están buscando trabajo son contabilizados como desempleados. El desempleo temporal se produce cuando las industrias tienen una temporada de baja, como durante el invierno (en aquellos lugares que tienen ésta estación) en la industria de la construcción o en otros sectores de producción cuyas tareas se realizan a la intemperie. El desempleo estructural se debe a un desequilibrio entre el tipo de trabajadores que requieren los empresarios y el tipo de trabajadores que buscan trabajo. Estos desequilibrios pueden deberse a que la capacitación, la localización o las características personales no son las adecuadas. El desempleo cíclico es el resultado de una falta de demanda general de trabajo. Cuando el ciclo económico cae, la demanda de bienes y servicios cae también, y por lo tanto se despide a los trabajadores.

Por otro lado la informalidad del empleo también ha tenido una tendencia creciente en las estadísticas del país. El sector informal de una economía puede ser visto como una válvula de escape para los individuos menos educados de una sociedad en momentos recesivos, [17]. La informalidad existe básicamente por la incapacidad del sector formal de generar suficientes empleos, esto se puede ver claramente cuando la economía entra en auge; en estos períodos la informalidad disminuye, ya que en la mayoría de

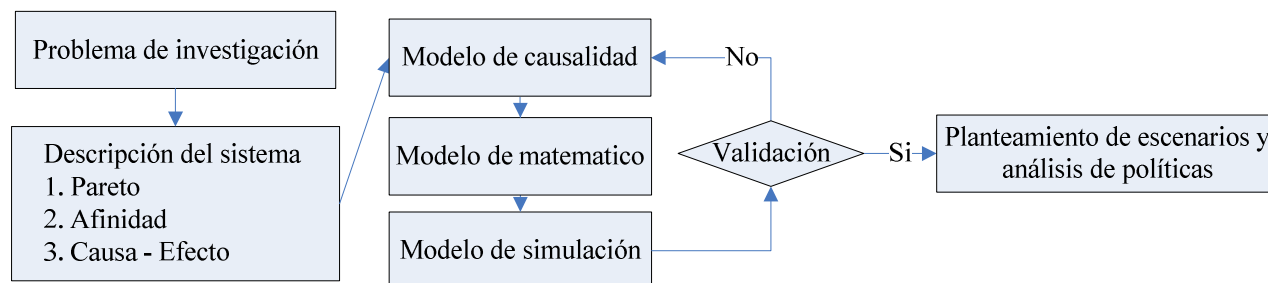


Figure 1. Metodología de modelación.

los casos no es vista como una opción laboral real sino como una posibilidad frente al desempleo; por tanto, cuando este empieza a ceder, los individuos comenzaran a trasladarse hacia el sector formal (carácter anti-cíclico de la informalidad). Según Cárdenas [3] la informalidad surge como consecuencia de las leyes y regulaciones laborales que buscan proveer a los trabajadores con beneficios y protecciones, además cuando es complejo y costoso cumplir con las regulaciones, es más fácil optar por emplear de manera informal a los trabajadores.

2.2 Antecedentes de estudio del problema

Respecto al mercado laboral y sus dinámicas y relaciones se han realizado diversos estudios y análisis desde mediados del siglo XX, uno de los más conocidos fue el de la Misión de Empleo [5], en el cual a partir de un análisis histórico se concluye que la característica central del mercado laboral colombiano ha sido su sensibilidad notable ante las fluctuaciones de la actividad productiva, y la alta correlación con el ciclo económico.

Por otra lado del seminario sobre empleo y economía desarrollado por el Banco de la República de Colombia [16] realizado en el 2001 se destacan diferentes investigaciones en las que se trataron temas como las perspectivas del desempleo en economías menos desarrolladas versus las más desarrolladas mediante una taxonomía sobre la teoría del desempleo y sobre el futuro de los mercados laborales en ambas economías; los determinantes cíclicos, institucionales y estructurales de los niveles del empleo y desempleo; las causas del desempleo en Colombia utilizando una perspectiva comparativa con otros países de América Latina, de donde se propone grandes áreas de acción para enfrentarlo, como el manejo del salario mínimo, la inversión, y la educación; el papel que ha jugado el incremento en la participación laboral sobre el alza de las tasas de desempleo que se han producido en Colombia desde 1998, destacándose el fenómeno del trabajador adicional; y el papel de las políticas de contención de oferta, en particular las educativas, en la reducción de la desocupación en el país [9].

Autores como Farné, Vivas y Yepes y Zerda, Corchuelo y Muñoz en la década de los 90, [8], realizaron diferentes estudios en lo que respecta a la evolución de la tasa de desempleo, la incidencia del crecimiento demográfico, los desequilibrios que se presentan en el mercado laboral (coyunturales y estructurales), la participación femenina, y la apertura económica sobre el desempleo.

Otros trabajos significativos fueron los modelos de dinámica de sistemas realizados por el grupo de matemática aplicada e investigación de operaciones de la Universidad de Valencia (España), y el grupo de investigación de operaciones y dinámica

de sistemas de la Universidad Nacional de Colombia, de donde se obtuvo el libro titulado “Control del desempleo por simulación” [4], y la investigación “Modelamiento para evaluación de políticas de empleo en Colombia” [12], respectivamente. En estos trabajos se incluye el modelamiento sistémico y la simulación de sistemas para representar el mercado laboral y la dinámica de su principal indicador como es la tasa de desempleo, además de incluir otras técnicas de modelamiento como la utilización de conjuntos difusos para el trabajo de la universidad de Valencia.

3 METODOLOGIA DE MODELACIÓN

La simulación es un enfoque para la solución de problemas, que integra la modelación matemática y los lenguajes informáticos con el fin de diseñar un modelo virtual que permita la experimentación para la toma de decisiones. El uso de la simulación para la representación de situaciones reales ha ganado cada vez más fuerza y aceptación en distintos niveles de la investigación, tanto para aplicaciones empresariales a entidades públicas y privadas, como también en actividades de planeación en los sistemas sociales.

La dinámica de sistemas se define como un método para favorecer el aprendizaje de los sistemas, creando modelos de simulación que ayuden a comprender la complejidad dinámica, a entender las fuentes de resistencia de las políticas, y a diseñar estrategias más efectivas [15]. La modelación utilizada en este trabajo se basa en los principios de la dinámica de sistemas y los planteamientos de la gestión del conocimiento, la cual la expresa como un proceso complejo que requiere la transformación de datos en información, determinando su valor para el sistema a modelar y posteriormente utilizarlas para inferir y predecir comportamientos, lo que se constituye en una metodología de obtención y creación de conocimiento, [11].

La metodología utilizada se muestra en la **Figura 1**, la cual parte de un enfoque cualitativo mediante la elaboración de diagramas causales y la utilización de técnicas de análisis de información como el Pareto y el diagrama espina de pescado, y se traslada a un enfoque cuantitativo mediante la matematización del problema por medio de la simulación, la cual se convierte en un instrumento de ayuda para la toma de decisiones.

4. MODELO DINÁMICO DEL MERCADO LABORAL

Una de las situaciones que merece atención en Colombia es el problema del empleo en el mercado laboral, ya que gran parte de la estabilidad social, económica y política del país se encuentra ligada al comportamiento de las tasas de desempleo e

informalidad. Además de afectar la economía del país, las altas tasas de desempleo e informalidad disminuyen la calidad de empleo, contribuyen a la emigración de muchos colombianos hacia el exterior en busca de nuevas oportunidades, aumentan el desplazamiento y agudizan la pobreza y violencia. Para mejorar esta situación es necesario entender el comportamiento de las variables que se interrelacionan alrededor del problema. Para caracterizar dichas variables es necesario percibir el mundo real como un sistema en el que interactúan diversos subsistemas, los cuales a su vez se componen de elementos (también sistemas), este proceso es conocido como “pensamiento sistémico”, [14]

4.1 Descripción del Sistema

Para la caracterización del sistema primero se revisó el estado del arte de las aproximaciones desarrolladas para los diferentes problemas del empleo en Colombia; se encontró que el desempleo y la informalidad del empleo son los problemas más comunes en el mercado laboral de cualquier economía, pero además el empleo existente, formal e informal, se caracteriza por una precariedad de salarios y de inestabilidad laboral [2], así como lo expresa Farné es un problema de calidad en el empleo, más que falta de empleo [7].

Se tomo información de fuentes secundarias, es decir publicaciones y opiniones expresadas principalmente en libros y artículos de investigación realizados para y por instituciones nacionales e internacionales, como el DNP, el Banco de la República, el DANE, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), departamentos de Economía de Universidades como: La Universidad de Antioquia, Universidad de los Andes, Universidad Nacional, entre otros, con el fin de desarrollar el

según la relevancia del tema y la frecuencia de mención por parte de los expertos consultados (ver Tabla 1), de acuerdo a su frecuencia (porcentaje) se puede observar que las dos causas que poseen el 19,80% de las opiniones de todos los expertos son la legislación laboral y el crecimiento económico, con un total de 39 autores que representan alrededor del 65% de todos los expertos consultados.

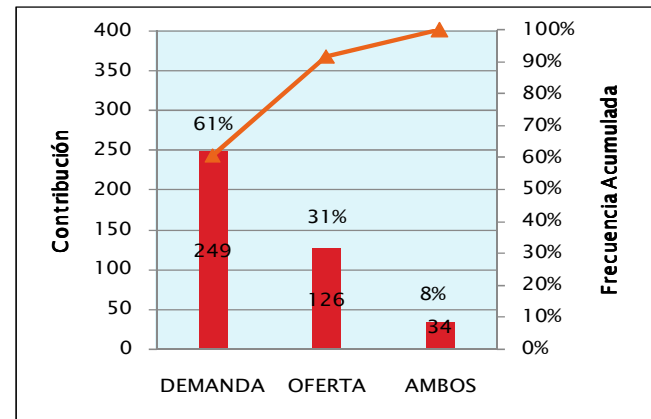


Figura 2. Análisis de Pareto Variables Agregadas.
(Fuente: Autores).

El diagrama de Pareto se muestra en la **Figura 2**, en el cual se clasificaron las causas entre factores de oferta y de demanda (factores macro y microeconómicos). Los factores de demanda cubren un 61% de las causas, mientras que los de oferta cubren el 31%, de esta manera los expertos consultados comparten sus

Tabla 1. Categoría de Causas. (Fuente: Autores).

Causa	%	Causa	%	Causa	%
1 Legislación laboral	10,27%	13 Inflación	3,18%	25 Sindicatos	1,22%
2 Crecimiento económico	9,54%	14 Problemática Social	2,44%	26 Ambiente Económico	0,98%
3 Salarios	8,31%	15 Migración y desplazamiento	2,44%	27 Calidad en la educación	0,98%
4 Participación Laboral	5,87%	16 Inversión Pública	2,20%	28 Política Fiscal.	0,98%
5 Nivel educativo	5,62%	17 Políticas económicas	1,96%	29 Trabajador desalentado	0,98%
6 Trabajador adicional	5,38%	18 Condiciones laborales	1,71%	30 Trabajador alentado	0,73%
7 Crecimiento demográfico	4,65%	19 Informalidad	1,71%	31 Política Monetaria.	0,73%
8 Tecnología.	4,65%	20 Canales de comunicación	1,71%	32 Trabajador excedente	0,73%
9 Desequilibrio estructural	3,67%	21 Trámites	1,47%	33 Capacitación	0,49%
10 Desempleo	3,42%	22 Competitividad	1,47%	34 Ingresos Familiares	0,49%
11 Calidad del empleo	3,42%	23 Inversión	1,22%	35 Inversión extranjera	0,49%
12 Pobreza y desigualdad	3,18%	24 Inversión Privada	1,22%	36 Subutilización de M.O.	0,49%

estado del arte de la problemática, obtener información histórica e identificar variables para el modelo.

Seguido a esto se realizó un análisis de Pareto y afinidad en el cual se consultaron 60 fuentes de información, entre nacionales y extranjeras, de donde se obtuvo un total de 409 causas; estas se categorizaron por medio de afinidad en 36 causas seleccionadas

opiniones para determinar que los problemas del empleo en general se deben a factores en la demanda de mano de obra. La mayoría de los expertos centran sus opiniones en las siguientes causas: legislación laboral, crecimiento económico, inversión privada y extranjera, salarios, trabajador adicional, crecimiento demográfico, nivel educativo, y desequilibrio estructural (entre la



Figura 3. Análisis causa-efecto. (Fuente: Autores).

oferta y la demanda). También tienen un peso importante las causas relacionadas con tecnología, sistemas de información laboral, inflación, tasas de interés, tasa de participación femenina, migración y desplazamiento, condiciones laborales, desigualdad y pobreza (distribución de la riqueza), violencia, narcotráfico (problemática social), participación laboral y políticas económicas.

Finalmente se realizó un análisis Causa – Efecto del cual se tomó como efecto principal los problemas de empleabilidad en Colombia (desempleo, informalidad y calidad del empleo), con dos factores causales principales factores de oferta y demanda, cada uno de estos con unos factores definidos en la **Figura 3**. Esta clasificación de factores causales permite observar las relaciones entre la demanda y la oferta, así como los problemas referenciados a los desequilibrios estructurales (oferta y demanda), los coyunturales, el impacto de los cambios demográficos y la legislación laboral, que permiten dar una idea inicial de qué tipo de políticas podrían implantarse.

4.2 Modelo Causal

Colombia en los últimos años ha experimentado tendencias de mejora en el mercado laboral con tasas de desempleo menores a las obtenidas en años pasados, este comportamiento ha sido acompañado de significativas pérdidas en la calidad de empleo, de menos participación en el mercado laboral, de la emigración de personas hacia el exterior en busca de nuevas oportunidades, y del fenómeno del desplazamiento interno, debido a que la mayoría de

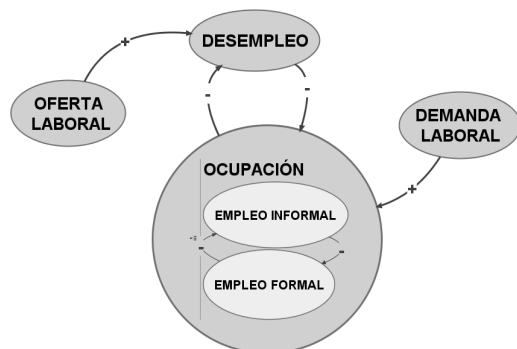


Figura 4. Dinámica del mercado laboral. (Fuente: Autores).

las personas desplazadas no se encuentran con las condiciones necesarias que se demandan en otro lugar diferente al de su residencia, [16].

Del análisis realizado se identificaron las principales variables que intervienen en la dinámica del mercado laboral y la existencia de no linealidad en estas; con lo cual era necesario identificar las relaciones causales entre las variables y sus relaciones de influencia; con esta información se diseñó el modelo causal del mercado laboral que se presenta en las **Figura 4**.

Este se abordó analizando la dinámica entre la oferta y la demanda y los niveles de ocupación y desempleo, la cual consiste en que un trabajador se puede ubicar en el empleo formal o en el informal, como supuesto prefiriendo estar en el formal, y que el excedente entre la oferta y la demanda es el desempleo. Se puede observar en la dinámica de la ocupación que una disminución del empleo formal causa un aumento del empleo informal, esto debido a que las personas cuando pierden sus trabajos en el sector formal tratan de atenuar la pérdida de ingresos con la búsqueda de trabajo e incorporación en la informalidad, al no existir más opciones; de igual manera, un aumento en el empleo formal genera una disminución del empleo informal. En este punto se identifican ciclos de realimentación reforzadores entre el empleo formal e informal, y también entre la ocupación y el desempleo.

De otra parte, a mayor oferta laboral por un incremento de la participación laboral, se aumenta el desempleo, este comportamiento se corroboró con estadísticas de la TGP (Tasa Global de Participación) y la tasa de desempleo tomadas del DANE y el DNP; así mismo si la oferta disminuye, el desempleo disminuirá. Otro de los comportamientos observados en la **Figura 4** es que un aumento en la demanda laboral incrementa la ocupación integrada de empleo informal y de formal, y por ende disminuye el desempleo, debido a que mejoran las condiciones del mercado laboral, se aumenta la actividad económica, y el crecimiento económico, etc.; esta afirmación se verificó con estadísticas del DANE y el DNP observando la relación que existe entre el incremento de la tasa de ocupación y la disminución de la tasa de desempleo; así mismo una disminución en la demanda laboral (tasa de ocupación), ocasionara menos ocupación, y más desempleo. Otro de los determinantes de la dinámica del mercado laboral es el desempleo, el cual implica que un aumento en este repercute en menos ocupación, de igual forma una disminución del desempleo viene acompañada de más empleo formal e informal, es decir más ocupación (ciclo de realimentación reforzador).

Para la demanda y oferta laboral también se realizó un modelo causal que representa la dinámica entre las variables identificadas en la descripción del sistema, y su interacción con el desempleo y la ocupación, para este también se identifican ciclos reforzadores de realimentación, este modelo se muestra en la **Figura 5**.

4.3 Modelo de Simulación

El modelo matemático y de simulación representa el comportamiento de las relaciones causales identificadas entre la oferta y la demanda laboral, y los indicadores de empleo, informalidad, crecimiento económico, calidad de vida y problemática social. En la **Figura 6** se muestran los sectores seleccionados en el modelo de simulación en el software *iThink*.

Las relaciones matemáticas se establecieron mediante la utilización de diferentes técnicas de modelación, entre las que se

encuentran métodos de regresión lineal múltiple, análisis de series de tiempo, y modelos económicos. Para esto se analizó información histórica con el fin de establecer el valor de los parámetros de cada una de las relaciones, [1].

Para el análisis de los datos se tomaron series históricas de diferentes fuentes de información, y estas fueron depuradas mediante técnicas estadísticas. Es importante destacar que para algunas series de datos históricos fue necesario el empalme de estadísticas, y la estimación por métodos estadísticos de algunos datos que no se encontraban o que no estaban calculados de manera explícita. Además se utilizó estimaciones establecidas por investigaciones previas, como parámetros dentro del modelo para algunos datos con los cuales no se contaba con estadísticas históricas. Dentro de éstas se encuentran las relaciones establecidas para las tasas de crecimiento de la población, de los salarios, violencia, entre otros, que se pueden combinar con métodos de regresión múltiple para la estimación de los parámetros.

Por otro lado se utilizaron modelos económicos y sociales entre los que se destaca el modelo de oferta y demanda laboral, el de contabilidad del crecimiento, funciones de producción de Cobb Douglas, curva de Philips, modelos de productividad, crecimiento poblacional, salarios, etc. De la aplicación de estos modelos es importante destacar el tratamiento matemático que se le dio a

algunas variables con el fin de poderlas representar mediante los diagramas de nivel; por ejemplo, en el modelo de contabilidad del crecimiento económico se realizó una extensión tomando el factor trabajo como dos componentes, uno formal y otro informal, lo cual permitió observar la dinámica entre ellos y las demás variables de crecimiento económico. Por ejemplo, se utilizó el modelo de Solow-Swan ampliado, este incluye tres factores de producción: capital, trabajo, y capital humano, en una tecnología Cobb-Douglas que satisface todas las propiedades de una función de producción neoclásica (ecuación (1)).

$$Y = A K^a L^b H^c \quad (1)$$

Donde, a , b y c son las elasticidades de la producción (Y representa el PIB) con respecto a la tecnología A , al capital físico K , al trabajo L , y al capital humano H . Esta función se puede modificar quedando como la ecuación (2)

$$Y = A K^a L F^{b_f} L I^{b_i} H^c \quad (2)$$

Donde LF y LI , representan el empleo formal e informal de la economía, entonces b_f y b_i son las elasticidades de la producción con respecto al trabajo formal e informal, respectivamente. Al aplicar logaritmos y tomar las derivadas parciales de ambos lados con respecto al tiempo, se puede ver cómo la tasa de crecimiento

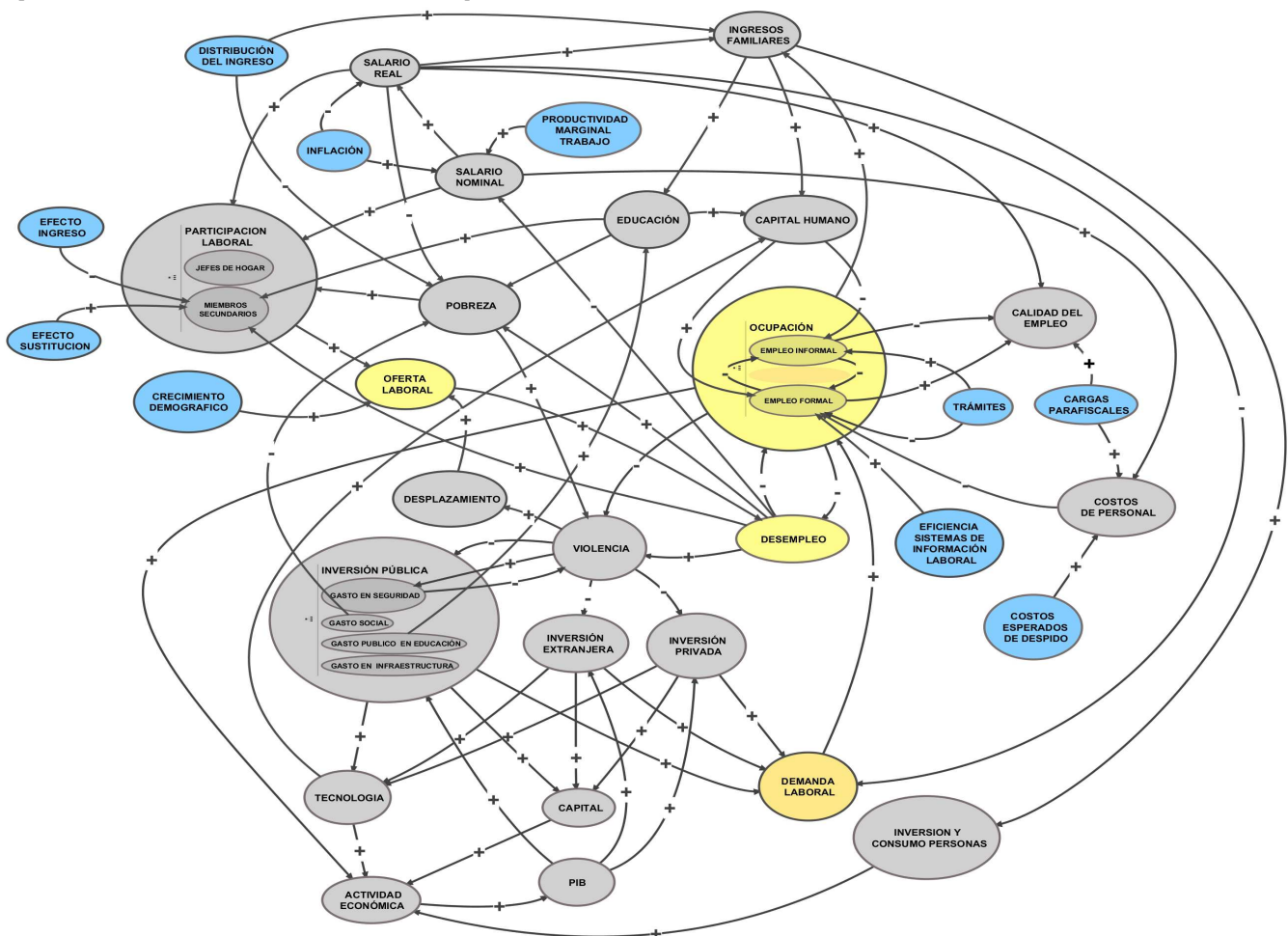


Figura 5. Modelo causal de demanda y oferta del mercado laboral colombiano. (Fuente: Autores).

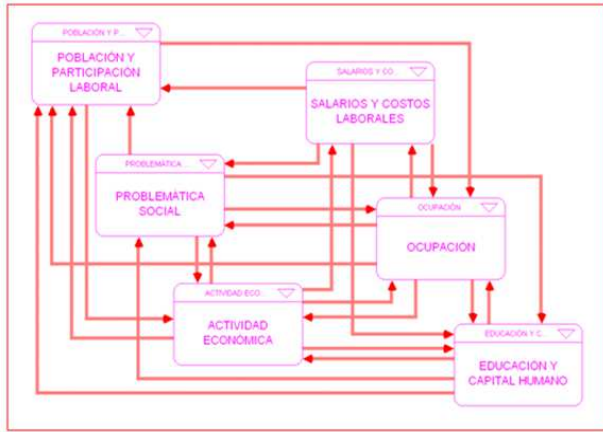


Figura 6. Modelo de simulación del mercado laboral colombiano en Ithink. (Fuente: Autores).

de la producción se relaciona con la tasa de crecimiento de los insumos productivos usados en la producción final (ecuación (3)).

$$\frac{\partial}{\partial t} \ln(Y) = \frac{\partial}{\partial t} (\ln(A) + a \ln(K) + b_f \ln(LF) + b_i \ln(LI) + c \ln(H)) \quad (3)$$

De donde se obtiene (4) y (5).

$$\frac{dY}{Y} = \frac{dA}{A} + a \frac{dK}{K} + \frac{b_f dLF}{LF} + \frac{b_i dLI}{LI} + c \frac{dH}{H} \quad (4)$$

$$\Delta \% Y = \Delta \% A + a \Delta \% K + b_f \Delta \% LF + b_i \Delta \% LI + c \Delta \% H \quad (5)$$

De esta manera el crecimiento económico se puede expresar como una función lineal de los crecimientos de los factores productivos. La anterior ecuación (5) se puede representar como la ecuación (6).

$$\Delta \% Y = \Delta \% A + a \Delta \% K + b_f \Delta \% LF + b_i \Delta \% LI + c \Delta \% H + dZ \quad (6)$$

Donde la variable Z es una variable dummy que representa la presencia de una problemática social como una crisis económica y social, o tiempos de guerra, para el caso colombiano se utilizara para representar la crisis económica de 1999, estos parámetros fueron estimados con series históricas y su variación porcentual utilizando el método de regresión lineal múltiple sobre (6). De manera similar se realizó un análisis matemático con las demás variables y otros modelos económicos.

La validación del modelo se desarrollo utilizando el método de simulación ex – post, [4], verificando las relaciones causales, la tendencia esperada, y comparando información histórica versus la de salida del modelo, encontrando un ajuste bastante bueno entre los valores estimados y los históricos.

5 ANÁLISIS DE POLÍTICAS

El análisis de políticas es la última fase de la metodología empleada, y consiste en la evaluación de unas estrategias de control mediante la construcción de una situación determinada, llamada escenario, basada en unos supuestos. Las variables de escenario serán aquellas en las que el analista del sistema podrá

interactuar y dar valores de acuerdo a la situación descrita, este método es usualmente utilizado en los modelos de simulación, [Caselles] y [Moreno].

El período de simulación escogido fue de 20 años, del año 2008 al 2028, se diseñó una interfaz (en el nivel de building blocks del software *iThink*) que permitiera al analista manipular y analizar las variables con el objeto de observar los diferentes comportamientos del sistema.

5.1 Análisis de Escenarios

Se definieron tres escenarios básicos: tendencial, pesimista y optimista, éstos representan la situación económica y social del país, además de ser un método de análisis de sensibilidad, garantizando una validación del modelo frente a condiciones extremas de las variables. Para determinar las variables de escenario se definió como base los lineamientos del plan nacional de desarrollo en Colombia [6], tomando valores tendenciales de las principales variables, así como estimaciones realizadas por diferentes investigadores para algunas variables. Para los escenarios pesimista y optimista se utilizaran valores extremos para medir la sensibilidad de los parámetros del modelo y su tendencia de respuesta. Los principales resultados de los tres escenarios se resumen en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Resultados de análisis de escenarios.

(Fuente: Autores).

Escenario	Descripción
Tendencial	Mantener las condiciones actuales en el sistema.
	Control de la tasa de desempleo frenándolo, más no disminuyéndolo.
	Informalidad aumenta, deteriorándose la calidad de los empleos y la productividad.
	Tasas de crecimiento del PIB positivas, crecientes.
	Se mantiene la violencia y pobreza.
Pesimista	Políticas que desestimulan la inversión pública, privada y extranjera.
	Situaciones de crisis que pueden ser políticas, económicas o sociales.
	Desempleo 20%, creciente.
	Informalidad de 67%, creciente.
	Crecimiento Económico, inferior al 3%.
Optimista	Incremento de violencia y pobreza.
	Políticas llevan a mejorar la inversión y el ambiente para la misma, tanto interno como externo.
	Bajas tasas de desempleo cercanas al 6%.
	Informalidad baja, cercana al 46%.
	Mejora en los salarios y de la calidad de los empleo y de vida.
	Disminución de la violencia y pobreza.

Una vez simulados los tres escenarios se pudo observar la sensibilidad que presentan las variables incluidas en el modelo respecto a unas condiciones normales y otras extremas, los resultados que se encontraron fueron consistentes con lo esperado según los planteamientos de los expertos consultados. Cabe recalcar que los valores hallados pueden no ser exactos, más lo que se destaca es la tendencia de comportamiento de las variables

la cual fue consistente, ya que en un escenario de expectativas totalmente pesimistas es de esperar que los indicadores del mercado laboral empeoren así como los económicos, de calidad de vida y de problemática social; así mismo, cuando las expectativas son positivas se puede esperar que las variables mencionadas mejoren con el transcurrir del tiempo.

5.2 Evaluación de políticas

Finalmente con el modelo desarrollado y validado, y después del análisis de sensibilidad, se diseñó un escenario con el fin de evaluar un conjunto de políticas que lleven a mejorar las condiciones del empleo, específicamente al manejo de la informalidad en el mercado laboral colombiano.

La definición de las variables para este modelo se basa en comportamientos supuestos y obedecen a los resultados que se podrían esperar con la implantación de unas políticas adecuadas, estos son mostrados en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Definición de valores de variables para análisis de políticas. (Fuente: Autores).

Variable	Escenario Factible
% Inversión Extranjera / PIB	Valor inicial de 3%, Decrecimiento hasta 1% en el año 4 (2012), después crecimiento lineal hasta 4.5 % en el 2028 (38).
% Inversión/ PIB	Valor inicial de 16%, Decrecimiento hasta 15% en el año 4 (2012), después crecimiento lineal hasta 23 % en el 2028 (38).
% Consumo / PIB	Valor inicial de 63%, Decrecimiento hasta 60% en el año 4 (2012), después crecimiento lineal hasta 65 % en el 2022 (38), donde se estabiliza en 65%.
% Gasto público / PIB	Valor inicial de 18%, con crecimiento hasta 22% en el 2012 (22), como producto de crisis, luego disminuye a 21% desde el período 24 hasta el 26, donde incrementa hasta 25% en el 2028 (38).
% Exportaciones netas / PIB	1-inversion-consumo-gasto público
% Inversión privada	Valor inicial 70 %, disminuye a 68% en el cuarto año, para aumentar linealmente a 75% en el 2028 (38).
% Gasto Educación / GP	Valor inicial 17%, crecimiento lineal hasta 23 % en el 2028 (38).
% Gasto Social / GP	Valor inicial 42%, con un crecimiento lineal hasta 48 % en el 2028 (38).
% Gasto Defensa / GP	Valor inicial 25%, crecimiento lineal hasta 28 % en el 2028 (38).
% Gasto Infraestructura/ GP	Valor inicial 10%, con un crecimiento lineal hasta 15 % en el 2012 (22), luego valor constante de 15%.
Tasa de cambio (COP/US)	1965, con un crecimiento lineal hasta 2100 en el 2014 (24), luego valor constante, supuesto de no crisis más crisis.
Tiempo de Búsqueda Empleo	33 semanas, incremento hasta 35 semanas en el año 4 (2012), después disminución lineal hasta 25 semanas en el 2028 (38).
PTF	Valor inicial de -1.28%, Decrecimiento hasta -2% en el año 4 (2012), después crecimiento

Variable	Escenario Factible
	lineal 3 % en el 2028 (38).
% Población Urbana	76%, crecimiento hasta 78% en el año 4 (2012), después disminuye linealmente hasta 72 % en el 2028 (38).
Crisis	1 en los cuatro primeros años, 0 en los demás.
Inflación	5% Valor constante, se supone que la inflación será controlada por una adecuada política económica.

Las políticas planteadas giran alrededor de la promoción o no del empleo informal, es decir, que pasaría si la tasa de informalidad sigue aumentando, disminuye o se mantiene. Se definen las siguientes variables para el análisis de este escenario, las cuales corresponden a las que el analista modificara de acuerdo al criterio seleccionado:

- o MT Cte Infor: constante de la ecuación lineal de regresión del modelo matemático y de simulación, esta permite suponer valores que correspondan a una política que promueva o no el empleo informal.
- o CLNS: corresponde a los costos laborales no salariales, ya que influyen vía los costos de contratación y la normatividad laboral en la ocupación informal, y la flexibilidad laboral.

Se consideraron tres tipos de políticas, las cuales se definen en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Políticas aplicadas al modelo. (Fuente: Autores).

Política	Descripción
Neutra	Mantener los costos laborales no salariales “CLNS” constantes, y que la tendencia de la informalidad no sea modificada por ninguna política, es decir que la variable “MT Cte Infor” no se modificara.
Disminución de la informalidad	Disminución lineal en 10% de los costos laborales no salariales como producto de una normatividad laboral flexible, y la variable “MT Cte Infor” se disminuyó a 110 (su valor original era de 120) como producto de la disminución de trámites para la creación de empleo formal, y de una normatividad más flexible.
Fomento de la informalidad	La palabra fomento se refiere al resultado de políticas que conlleven al aumento de la ocupación informal. En esta se consideró un aumento lineal de 10% de los costos laborales no salariales, y la variable “MT Cte Infor” se aumentó a 140, estos cambios surgen como producto del aumento de trámites para la creación de empleo formal, de la corrupción y de una normatividad menos flexible.

A continuación se describen los principales resultados de las tres políticas consideradas:

- 1) Política Neutra: la legislación laboral no interfiere en la recuperación del mercado laboral que se lograría con una tendencia de la economía optimista con ciertos límites propuestos, de esta forma se puede comprobar los círculos virtuosos que genera la reactivación económica (como producto de mejora en las inversiones), los cuales conllevan a un incremento en la ocupación, que influye de igual manera en la actividad económica, lo mismo sucede con los indicadores de problemática social. Sin embargo la informalidad se mantiene en niveles constantes.
- 2) Política de disminución de la informalidad: este escenario muestra como una política que ataca el crecimiento de la informalidad acompañada con una tendencia optimista de la economía, mejora significativamente las condiciones del mercado laboral, de la economía y del bienestar social, y además genera un crecimiento del PIB sostenido. También se observaron mejoras en la calidad de los empleos y de vida de la población.
- 3) Fomento de la informalidad: este escenario muestra como con una política permisiva y sin control de la informalidad se lograría mejorar la tasa de desempleo pero empeorar las condiciones laborales, y con esto la calidad de los empleos, aún así se generaría un crecimiento económico positivo de la economía, que corrobora lo expuesto por varios expertos que es el fenómeno del crecimiento económico sin empleo [2], y en el caso particular un crecimiento económico sin empleo y de baja calidad, y por tanto baja calidad de vida.

6 CONCLUSIONES

Dentro de los principales resultados y aportes de este trabajo se destaca la aplicación de herramientas de modelación matemática a problemas de índole social y económico, permitiendo caracterizar una situación particular cualitativamente mediante relaciones causales y análisis de información, usando herramientas estadísticas y de análisis de calidad; para luego trasladarlas a relaciones matemáticas utilizando modelos de simulación dinámica. Esto con el fin de desarrollar una herramienta para facilitar la toma de decisiones respecto a las políticas a implementar en un sistema. También sobresale la representación de modelos causales al utilizar sub-causas dentro de una causa principal, ya que para este problema se encontró que algunas variables (causas) se podrían subdividir en dos o más (que son el total de la causa principal), las cuales llevan implícita una relación de complementariedad.

Respecto al problema, el enfoque desarrollado en este trabajo permitió la identificación e integración en un modelo dinámico de las diferentes variables que incluye la dinámica entre la oferta y demanda laboral, y los problemas como lo son el desempleo. A diferencia de trabajos previos, en esta investigación se incluyó el análisis de la dinámica entre el empleo informal y formal y su repercusión en el ámbito económico y social. De esta manera se pudo evidenciar del análisis entre oferta y demanda, que la tasa de ocupación se mantiene en unos niveles constantes, lo cual puede indicar una medida de saturación del mercado laboral, sin embargo si se observa el crecimiento de la informalidad, este fue

el punto principal que motivo a realizar el análisis de políticas basado en el control de la informalidad.

De los tres análisis de políticas realizados se puede concluir que aunque el problema del desempleo se puede controlar, es decir tener bajas tasas de desempleo, la tendencia creciente de la informalidad de los empleos presenta un impacto negativo en las variables como el crecimiento económico, la calidad de los empleos, la seguridad y la problemática social, representando unas consecuencias desfavorables para la economía y la sociedad colombiana. Lo cual origina la necesidad de la implantación de políticas que lleven a una mejora en la calidad de los empleos, en la cobertura de seguridad social, mejores ingresos y facilidad en la creación de empleos formales que contribuyen en mayor medida al bienestar y crecimiento del país. Estas políticas se deben concentrar en aspectos que mejoren las tasas de rendimiento de los inversionistas, en mejorar las condiciones de seguridad, dar mayor cobertura en la educación y una mejor calidad de la misma mejorando el capital humano.

También se debe implantar una política en legislación laboral más flexible que permita mayor generación de empleo, reduciendo los costos de contratación que son costos laborales no salariales, generando así mayor ingreso para la población trabajadora y mayor ocupación en diferentes sectores de la economía.

Del desarrollo de este trabajo se plantean los siguientes temas como posibles líneas de profundización de la investigación:

- o Evaluar el problema del desempleo y la informalidad por género, teniendo en cuenta la evolución de la ocupación femenina, los problemas de discriminación laboral, y el efecto de la educación en esta dinámica.
- o Evaluar el problema del desempleo y la informalidad por sectores de la economía.
- o Evaluar el problema del desempleo y el subempleo, este último generalmente es medido por ingresos y por competencias.
- o La relación entre la economía del sector informal y la informalidad laboral, esta permitiría identificar que tanto empleo de tipo informal generan aquellas actividades que son consideradas como sector informal, así como determinar la participación de este sector en la producción y su impacto en el crecimiento económico.
- o Dinámica y caracterización de la tipología del desempleo (friccional, estructural y cíclico) para Colombia, con el fin de determinar la composición de la tasa de desempleo respecto a estas tres clasificaciones.

7 REFERENCIAS

- [1] Ávila A. y López E., Aplicación de la dinámica de sistemas para la evaluación de políticas de empleo mediante la caracterización del problema del desempleo y la informalidad urbana en Colombia, Trabajo de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2009.
- [2] Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Se buscan buenos empleos. Los mercados laborales en América Latina. Informe de progreso económico y social, 2003.

- [3] Cárdenas, M. Introducción a la Economía colombiana. Bogotá, D. C.: Editorial Alfaomega, Primera Edición, 2007.
- [4] Caselles A., Ferrer L., Martínez I., Pla R. y Temre R, "Control del desempleo por simulación", tesis doctoral, Universidad de Valencia, España, 1999
- [5] Chenery, H. El problema laboral colombiano: Diagnóstico, perspectivas y políticas, Informe Final. Bogotá, D. C. Economía Colombiana: agosto - septiembre de 1986, separata N° 10. 1986.
- [6] DNP. "Visión Colombia II Centenario: 2019". Disponible en: <http://www.dnp.gov.co>
- [7] Farné, S. Estudio sobre la calidad del empleo en Colombia. Perú: OIT / Oficina Subregional para los Países Andinos, 2003.
- [8] Farné, S., Vivas, A. y Yepes, T. Estimación de la Tasa Natural de Desempleo en Colombia. Colombia: Cuadernos de Empleo, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, No. 1, 1995.
- [9] López H., Ensayos sobre economía laboral colombiana. Carlos Valencia Editores, Fonade, Bogotá, Colombia, 1996.
- [10] Lora, E. ¿Por qué tanto desempleo? ¿Qué se puede hacer? Memorias sobre "Seminario empleo y economía", Banco de la República, 2001.
- [11] Méndez G. y Álvarez L., Diseño de prototipo diagnóstico para la pequeña y mediana empresa, PYME. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2004.
- [12] Moreno L, Dyner I, Peña G. Diaz F, Agudelo N, Montoya C. Modelamiento para la evaluación de políticas de empleo en Colombia. Memorias del primer encuentro colombiano de dinámica de sistemas. Medellín, Colombia, 2002. pp 235 – 262.
- [13] Rodríguez, J. La economía laboral en el período clásico de la historia del pensamiento económico. Tesis doctoral. España: Universidad de Valladolid, 2003.
- [14] Senge, P. La quinta disciplina.: Editorial Granica, Bogotá, Colombia. 1995.
- [15] Sterman J., Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a complex world. Irwin/McGraw-Hill, Boston, 2000.
- [16] Urrutia M. Empleo y Economía. Memorias del seminario. Banco de la República de Colombia. Bogotá D.C, Colombia, 2001
- [17] Valencia, D. y Ordoñez, A. Informalidad en Colombia. Causas, Efectos y Características de la Economía del Rebusque. Estudios Gerenciales, Revista Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas, Universidad ICESI, 2004.

8 CURRICULUM

Eduyn Ramiro López Santana. Ingeniero industrial, Grado de Honor Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniera, Universidad Distrital. Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Es profesor de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro del grupo de investigación Sistemas Expertos y Simulación SES.

Adriana Alexandra Ávila González. Ingeniera industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniera, Universidad Distrital. Miembro del grupo de investigación Sistemas Expertos y Simulación SES.

Germán Andrés Méndez Giraldo. Ph.D. Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, de Bogotá, Colombia. Obtuvo su título de Maestría en 1998 en la Universidad De Los Andes de Bogotá, Colombia. Obtuvo su doctorado en 1999 en la Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba. Se desempeñó como Jefe de Producción en industrias nacionales y multinacionales, Gerente y Coordinador de proyectos. Consultor y asesor empresarial. Es profesor de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital desde 1995 y se ha desempeñado en diversos cargos dentro de la Institución como coordinador del Proyecto Curricular Especialización en Ingeniería de Producción, de la Maestría en Ingeniería Industrial y fue Jefe de la Oficina de Relaciones Interinstitucionales, Vicerrector Administrativo. Actualmente es el coordinador de la línea de Investigación en Simulación y Dinámica del Sistema y se desempeña como profesor en el área de Investigación de Operaciones en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá, Colombia, y pertenece como investigador al grupo Simulación y Sistemas Expertos, donde realiza estudios sobre Metaheurísticas, Sistemas Expertos y PyME.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo de dinámica de sistemas para el proceso de producción de la mandarina

System dynamics model for the production process of the mandarin

Msc. Isaac Huertas Forero
isaac.huertasf@hotmail.com

Ing. Mario Ramón Verástegui
marioramon@gmail.com

Laura Catalina Morales Parra
laurac.moralesp@gmail.com

Lorena Castro Ariza
loren_k10@hotmail.com

RESUMEN

En el siguiente trabajo, se observa el proceso productivo de la mandarina y la rentabilidad que su producción, comercialización y distribución genera en la zona de Cundinamarca.

Se seleccionó la mandarina debido a su gran facilidad para el cultivo y su popularidad en el departamento de Cundinamarca.

En Colombia existen más de 20 clases de mandarina con sus respectivas derivaciones, para el estudio se escogió la variedad Clementina.

Esta investigación va encaminada al estudio de su cadena productiva, simulando la misma con un modelo dinámico, estableciendo la utilidad que representa cultivar 15 hectáreas del producto.

Palabras Clave

Cadena productiva, modelo dinámico, recursos, cultivo, mandarina.

ABSTRACT

In this paper, we observe the production process of the mandarin and the return to production, marketing and distribution caused in the region of Cundinamarca.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Tangerine was selected because of its ease of cultivation and popularity in the department of Cundinamarca.

In Colombia there are over 20 kinds of tangerine with their derivations, was chosen to study the variety Clementina.

This research is aimed to study the production chain, simulating the same with a dynamic model, establishing the utility is to cultivate 15 hectares of the product.

Keywords

Chain, dynamic model, resources, culture, tangerine.

1. INTRODUCTION

La mandarina tiene su origen en china e Indochina; su árbol es similar al naranjo solo que es de un porte menor a éste.

La mandarina Clementina es la variedad más cultivada en Colombia, por la calidad del fruto (tamaño, fácil pelado y agradable sabor) y por su buena adaptación a las condiciones climáticas del área.

El propósito de este artículo, es conocer el comportamiento productivo, crecimiento vegetativo y calidad de la producción de la mandarina Clementina basado en variables de: dinero, equipo, medioambientales, materiales y mano de obra; dicho comportamiento como se ha expuesto anteriormente se estudiará mediante la utilización del software Stella así como el diagrama causal y el modelo de Forrester para simular el comportamiento de la producción..

2. ANTECEDENTES

Ríos-Castaño, D. y Camacho, S. 1969. Mandarinas criollas en Colombia. Agricultura Tropical. En este paper se realiza una

evaluación del rendimiento de tres especies de cítricos cultivados en el departamento del Meta; se observan características tanto de cultivo como de producción de las frutas. El aporte esencial es la determinación de que cítrico es el óptimo para cultivar en la zona.

3. INVESTIGACIÓN PARA EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA MANDARINA

3.1 Descripción del cultivo

La mandarina hace parte de un grupo de frutas llamado cítricos y cuenta con más de 145 especies, entre las que se destacan: naranja, mandarina, limón, lima, toronja.

La mandarina es el cítrico que más se exporta con un 98% del total de las exportaciones de cítricos.

Los cítricos en general tienen la particularidad de aportar prioritariamente vitamina C, ácido fólico, potasio, magnesio al organismo del consumidor, sin embargo la mandarina es el cítrico que menos vitamina C aporta.

La vitamina C interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos y favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones. La vitamina C, como antioxidante, contribuye a reducir el riesgo de múltiples enfermedades entre ellas, las cardiovasculares, las degenerativas e incluso el cáncer.

El ácido fólico interviene en la producción de glóbulos blancos y rojos y la formación de anticuerpos del sistema inmunológico.

El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de las células.

El magnesio contribuye al buen funcionamiento del intestino, nervios y músculos además de tener un efecto laxante, mejora las defensas del cuerpo y forma parte de huesos y dientes. [10]

Citrus tangerina es un árbol frutal de la familia de las rutáceas, conocido como mandarino, al igual que Citrus reticulata. Su fruto, la mandarina, es un hesperidio cuya pulpa está formada por un considerable número de gajos llenos de jugo; el cual contiene mucha vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. [14]

Los frutos, llamados hespérides, tienen la particularidad de que su pulpa está formada por numerosas vesículas llenas de jugo. La mandarina se considera como el cítrico más afín a la naranja. Su pequeño tamaño, su sabor más aromático y la facilidad de quitar su piel, hacen de esta fruta una de las más apreciadas.

Las mandarinas se dividen en cuatro grandes grupos, dentro de los cuales se encuentran las diferentes variedades: Clementinas, Clemenvillas, Híbridos y Satsumas.

Clementinas: son de color naranja intenso, de forma esférica aplanada y lo común es que carezcan de semillas. Se consideran un cruce entre la mandarina y una naranja silvestre de Argelia. Se pelan con facilidad y tienen muy buen sabor. [13]

3.2 Ficha técnica

Exigencias en Suelo: Las altitudes aptas para el cultivo de mandarina oscilan entre los 400 a 1300 msnm. La profundidad del hoyo puede llegar hasta de 1.5 m, además el buen drenaje es muy

importante según la productividad del cultivo. Se prefieren suelos con pH entre 5.5 a 7.0. [15] La humedad relativa del suelo debe ser en promedio de 89% y se debe considerar una temperatura media de 20-23°C. [2]

La siembra: la tierra superficial se debe mezclar con materia orgánica y colocarla al fondo del hoyo y mezclarla con fertilizante rico en fósforo. Se deben sembrar árboles injertados, libres de plagas y enfermedades.



Figura 1. Mandarina Clementina
Fuente: Google/mandarina clementina

Zonas de Producción: los mejores cítricos serán provenientes de climas tipo mediterráneo (suelos arenosos, blancos, clima seco o semidesértico y una alta intensidad solar).

Épocas de Siembra y Cosecha: si se tiene disponibilidad de riego se puede sembrar en cualquier época del año; caso contrario, la época más adecuada es al inicio de la época lluviosa.

Distanciamiento de Siembra: Generalmente, en plantaciones de mandarina se usa distanciamientos de 7x6m aproximadamente.

Tamaño y peso: el fruto es de tamaño mediano, que incide en la calidad del producto y oscila entre los 40 milímetros y los 86 o más en las mandarinas de mayor calidad comercial. El calibrado de las mandarinas se realiza en una escala descendente entre el 1 y el 10, siendo las del número 1 las más grandes y las del 10 las más pequeñas. El peso de una mandarina puede variar desde los 50 a los 100 gramos.

Color: el color, tanto de su cáscara como de su pulpa, es anaranjado; en algunas variedades la piel puede tener un tono naranja rojizo. Su piel, en general, no se adhiere al fruto y su pulpa se divide en 8 ó 10 gajos que se separan con facilidad.

Sabor: la pulpa de la mandarina es de sabor dulce, ligeramente acidulado es jugosa y refrescante.

Normatividad para exportación: la exportación de los cítricos está reglamentada por los requisitos exigidos por la NTC 4087 dentro de los que resalta que los frutos deben estar enteros y sanos, libres de humedad externa anormal, presentar aspecto fresco y consistencia firme exentas de cualquier olor o sabor extraño, limpias de polvo, agroquímicos y residuos de plaguicidas. [12]

4 CADENA LOGÍSTICA

La figura 2 muestra la estructura del mercado de la mandarina en Colombia por medio de una cadena productiva de donde se destacan:

Productor: Inicialmente los mayores productores de Mandarina eran los campesinos de la zona, con un mercado no muy amplio y una producción individual relativamente baja; debido al área limitada de siembra; sin embargo con el transcurso del tiempo, este cítrico ha ido ganando popularidad debido a sus diversas propiedades, alta resistencia a los cambios climáticos de la zona y relativa facilidad de siembra, hasta llegar a interesar a productores macro quienes la han llevado hasta su exportación; cabe resaltar que a pesar del crecimiento en el mercado, el campesino sigue siendo un elemento clave en la producción de la misma.

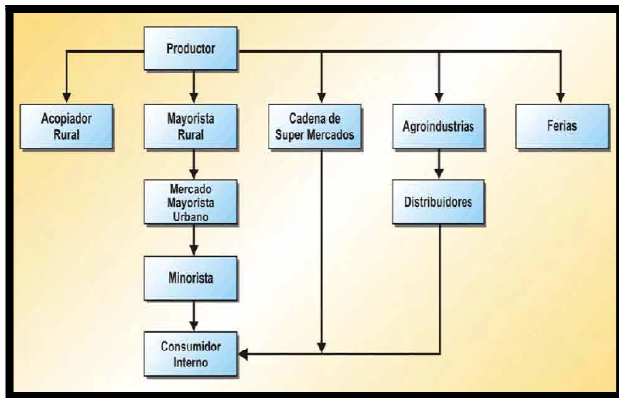


Figura 2. Cadena Logística.

Fuente: Google/cadena logística mandarina.

Acopiador rural: Se refiere a los campesinos como un grupo de producción relativamente pequeño debido a las limitaciones de terreno, quienes producen para el mercado regional.

Los siguientes puedes ser o no productores teniendo en común solamente el hecho comerciantes y pueden ser abastecidos por el productor antes mencionados.

Mayorista rural: Este grupo hace referencia a los productores que comercializan su producción en mercados rurales.

Cadena de supermercados: esta en especial no es productora del fruto; solo funciona como intermediario entre el cliente y el consumidor final

Agroindustria: es básicamente una organización que participa directamente o como intermediaria en la producción agraria, procesamiento industrial o comercialización nacional y exterior de productos agrícolas; de manera que agrupa a todos los participantes la cadena logística, que no sólo son los proveedores de tierra, capital y trabajo, sino también a las instituciones del mercado para la comunicación y movimiento de los productos, así como a las instituciones y mecanismos de coordinación entre sus componentes.

Mercado mayorista: Es el comerciante que vende al por mayor; es uno de los componentes de la cadena de distribución, en este caso, el productor no tomará contacto con el usuario final o consumidor final sino que le delegará esta tarea al mayorista quien es de alguna manera el intermediario entre el que produce y el minorista. Es decir, le compra al productor, o a otro mayorista y luego le venderá a un minorista, pero nunca al consumidor final.

Minorista: Se refiere al segmento de la cadena que se encarga de hacer contacto con el cliente final es decir es quien oferta es producto al cliente final.

Consumidor interno: hace referencia al consumo nacional, regional o sectorial del producto.

En los anteriores párrafos se también describe a los actuadores de la cadena como distribuidores según su lugar en la cadena. [11]

5 ESTRUCTURA DEL PROBLEMA

Validar y verificar que el proceso productivo del cultivo de la mandarina Clementina, en el Departamento de Cundinamarca en la finca El refugio, ubicada en el poblado de Pradilla; cumpla con las especificaciones necesarias que lleven a la optimización del cultivo y su cadena de abastecimiento en el mercado local.

6 METODOLOGÍA

Teniendo como base la cadena logística mostrada en el apartado 4, acerca de la producción de mandarina, se elaboró un diagrama causal y con base a éste, un estudio de exploración en el departamento de Cundinamarca en la finca El refugio ubicada en el poblado de Pradilla, con el fin de diseñar un diagrama de Forrester para simular el comportamiento de la cadena de abastecimiento utilizando el Software Stella.

7 MODELO CAUSAL

En la siguiente figura se muestra la relación de los bucles de retroalimentación, bien sea positiva o negativa, de las diferentes variables que intervienen en el proceso productivo de la mandarina desde su cultivo hasta su venta y exportación.

De todas estas variables se resaltan: Producción, equipo, mano de obra, ventas, rentabilidad y exportación ya que alrededor de estas, giran el resto de variables.

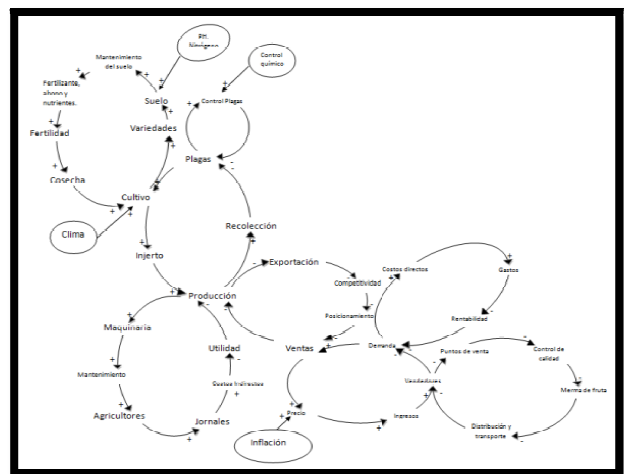


Figura 3. Diagrama causal

Fuente: El autor

8 MODELO FORRESTER

Como es sabido, el modelo de Forrester es una herramienta que, mediante gráficos y basado en el diagrama causal, permite el estudio y análisis de sistemas continuos relacionado los subsistemas entre sí permitiendo observar su comportamiento ante cualquier cambio en alguna de las variables de los mismos.

En las siguientes figuras se mostraran las variables básicas que le dan el movimiento al sistema y serán indicadas como “Nivel”.

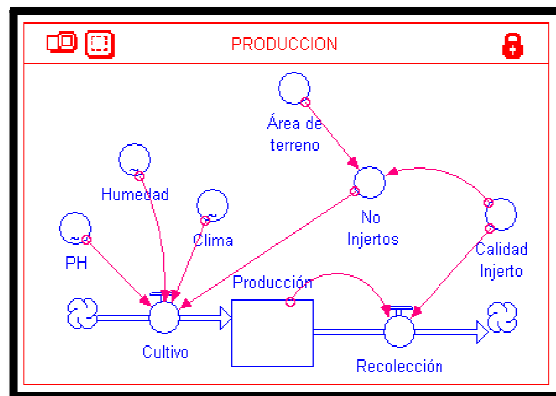


Figura 4. Diagrama Forrester/producción
Fuente: El autor.

En la figura anterior se muestra a la Producción como un subsistema que se ve afectado por variables exógenas que son un factor determinante en la producción.

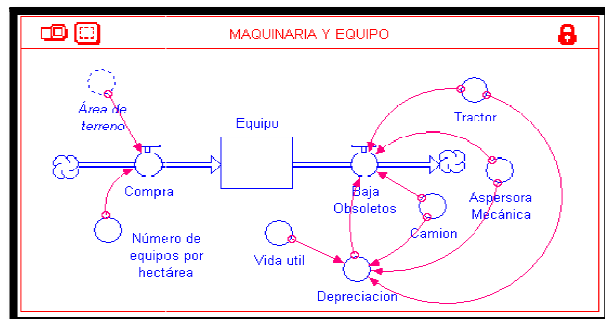


Figura 5. Diagrama Forrester/ equipo
Fuente: El autor.

La figura 5 muestra las variables que intervienen en cuanto a la compra y obsolescencia de los equipos usados para la producción.

Como se muestra en la siguiente figura, los jornales o gasto en salario, se ven afectados por la cantidad de contrataciones que se hagan según la producción.

A mayor producción aumenta la contratación de jornales, y si se compra maquinaria, se generarán más despidos de jornales.

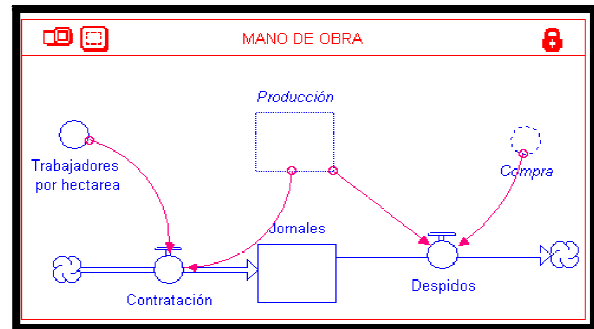


Figura 6. Diagrama Forrester/ Mano de obra
Fuente: El autor.

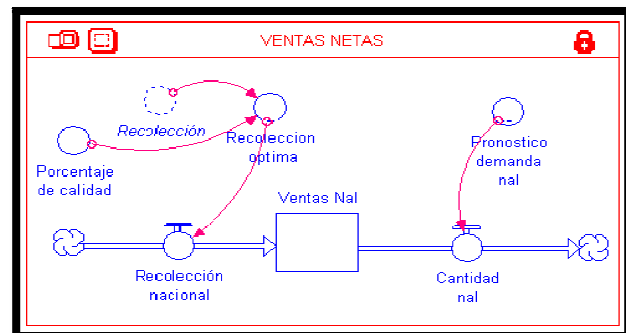


Figura 7. Diagrama Forrester/ Ventas netas
Fuente: El autor.

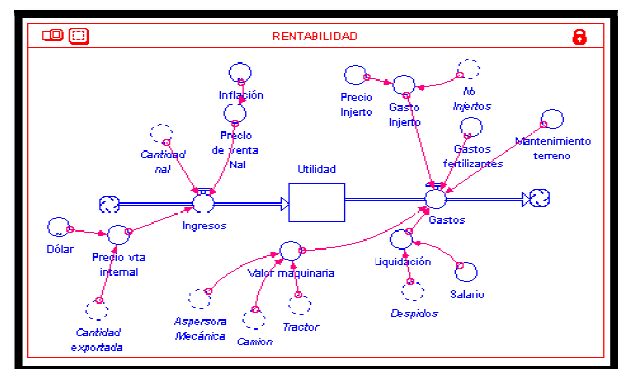


Figura 8. Diagrama Forrester/ Rentabilidad
Fuente: El autor.

En las dos figuras anteriores requieren un flujo de dinero; lo que no significa que en el resto de subsistemas no exista tal flujo es solo que en estos último se hace más evidente.

9 RESULTADOS

Luego de haber formulado el diagrama Forrester basado en información encontrada

Acerca del cultivo de mandarina y suponiendo un espacio de 15 hectáreas con capacidad para 3840 plantas, costos de alquiler, salarios, compra de maquinaria y demás, reales y una producción para 36 meses nos genera la siguiente figura.

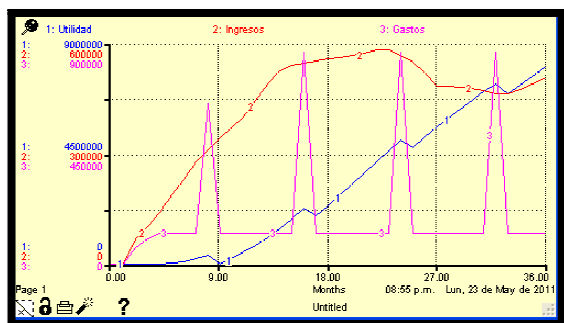


Figura 9. Gráfica Forrester/ Rentabilidad
Fuente: El autor.

En la figura anterior, se presenta la producción promedio anual de la mandarina durante tres años de cosecha.

La producción presentó un comportamiento decreciente durante los primeros 5 meses después del quinto mes de cosecha, la producción es constante.

Months	Utilidad	Ingresos	Gastos
2	0.00	67.365.93	67.365.93
3	0.00	101.160.00	101.160.00
4	0.00	140.830.81	140.830.81
5	0.00	186.730.19	177.800.00
6	9.130.19	231.461.00	177.800.00
7	82.981.19	276.819.03	177.800.00
8	162.200.22	311.707.78	177.800.00
9	0.00	344.194.38	177.800.00
10	166.594.38	371.074.21	177.800.00
11	360.068.59	401.808.00	177.800.00
12	584.076.59	446.420.00	177.800.00
13	852.890.59	491.497.27	177.800.00
14	1.166.793.87	527.718.84	177.800.00

En la tabla anterior, se observa que los primeros 5 meses, la rentabilidad es nula, pues se considera que los primeros meses los gastos son iguales a los ingresos de la empresa. A partir del 6 mes se empieza a notar el crecimiento en los ingresos y un porcentaje de rentabilidad mayor con el paso del tiempo.

10 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que las condiciones climáticas que posee la región de Cundinamarca son favorables para la producción de cítricos y en especial la variedad de mandarina Clementina.

El desarrollar un modelo donde se pueden efectuar cambios a conveniencia sobre cualquiera de las variables que afecten la producción, en éste caso de la mandarina, permite visualizar a futuro las posibilidades de pérdidas o ganancias para los agricultores de la zona.

En el modelo dinámico se observa que la rentabilidad incrementa a través del tiempo, lo cual sugiere continuar con el cultivo y producción de la mandarina en esta zona en condiciones favorables de clima, suelo, terreno (hectáreas), entre otras.

11 BIBLIOGRAFÍA

- [1] SÁNCHEZ, L. A., JARAMILLO, C., TORO, J. C. 1987. Fruticultura colombiana - Cítricos. Manual de asistencia

técnica no. 42. Instituto Colombiano Agropecuario y Servicio Nacional de Aprendizaje. Cali, Colombia. 97

- [2] Ríos-Castaño, D. y Camacho, S. 1969. Mandarinas criollas en Colombia. Agricultura Tropical 25 (9), 456-465.
- [3] GARCIA JUAN MARTIN, Teoría y ejercicios prácticos de la dinámica de sistemas. 2003. Segunda Edición.
- [4] ARACIL JAVIER, GORDILLO FRANCISCO, Dinámica de sistemas. Alianza Universidad Texas. 1997
- [5] GARCIA JUAN MARTIN, Ejercicios avanzados en dinámica de sistemas. 2 Edición. 2011.
- [6] FORRESTER JAY, Dinámica industrial. Editorial El Ateneo. 1981.
- [7] Memorias de la Dinámica de Sistemas para la efectiva toma de decisión y análisis estratégico de problemas. Octavo Congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas. 2010.
- [8] HUERTAS ISAAC FORERO, Modelo de dinámico de sistemas para las hierbas orgánicas. La manzanilla. 2010. Octavo Congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas.
- [9] FRANCO CARLOS, Modelo de producción de palma de aceite. 2010. Octavo Congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas.
- [10] PROPIEDADES DE LA MANDARINA [en línea], [citado el 22 de mayo de 2011]
[<http://www.alimentacionsana.com.ar/informaciones/novedades/mandarina.htm>]
- [11] PRODUCCIÓN DE MANDARINA OFERTA Y DEMANDA [en línea], [citado el 18 de abril de 2011]
[<http://www.monografias.com/trabajos57/produccion-mandarinas/produccion-mandarinas2.shtml>]
- [12] PRODUCCIÓN DE MANDARINA OFERTA Y DEMANDA [en línea], [citado el 1 de abril de 2011],
[<http://www.economiagricola.com/trabajos57/produccion-mandarinas/produccion-mandarinas.shtml>]. A modo de lectura.
- [13] MONOGRAFÍA DE LA MANDARINA [en línea], [citado el 18 de abril de 2011],
[<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/TAB4003236/MONOGRAF%CDA%20DE%20MANDARIN.PDF>]
- [14] ARTÍCULOS CIENTÍFICOS [en línea], [citado el 18 de abril de 2011],
[http://200.75.42.3/SitioWeb/Archivos/oferta/Potencial_de_rendimiento.pdf]
- [15] CULTIVO DE LAS MANDARINAS [en línea], [citado el 18 de abril de 2011],
[<http://www.infoagro.com/citricos/mandarina.htm>]

12 CURRÍCULUM

Isaac Huertas Forero, Magíster de Investigación de Operaciones y Estadística, U. Tecnológica de Pereira y Estadístico de la Universidad Nacional de Colombia, con una experiencia Bancaria de 25 años y de docencia de 27 años en diferentes universidades de Bogotá, profesor de Maestría, especialización y de pregrado, iniciando la investigación desde el año 2006 a la fecha con tres investigaciones, una finalizada que se presentó al IV Congreso de Dinámica de Sistemas y dos en curso, una de ellas que se presentó

al 8 Congreso de Dinámica de Sistemas en la ciudad de Medellín, Colombia.

Mario Ramón Verástegui, Ingeniero Industrial de la U. Militar Nueva Granada; presta sus servicios de asesoría para el proyecto.

Semillero de investigación:

Lorena Castro Ariza, Laura Morales Parra, estudiantes de Ingeniería Industrial cursando actualmente noveno semestre de la Universidad Militar Nueva Granada.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre de 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo de dinámica de sistemas para la cadena de abastecimiento de la granadilla en Cundinamarca, Colombia

System dynamics model for the supply chain in Cundinamarca, Colombia

Isaac Huertas Forero., Msc
Universidad Militar Nueva Granada
Calle 100 Cr 11. Bogotá Colombia
(57)3152951270

Isaachuertasf@hotmail.com

Johana K. Clavijo Rondón
Universidad Militar Nueva Granada
Calle 100 Cr 11. Bogotá Colombia
(57)3214679761

Katherine.jcr@gmail.com

John Alexander Buitrago Pérez
Universidad Militar Nueva Granada
Calle 100 Cr 11. Bogotá Colombia
(57)3002330889

Johnbui89@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo tiene como fin el estudio de la cadena productiva de la granadilla, en el cual se implementó un diseño de Modelo en Dinámica de Sistema que permita establecer las variables incidentes dentro de la producción de esta, y sea de gran ayuda al agro para determinar la utilidad por hectárea, bajo condiciones normales en terreno, clima, PH del suelo, plagas, humedad relativa, número de jornales, número de equipos, entre otras; con el fin de implementar su uso por parte de cultivadores y comercializadores de la fruta. Se plasma una caracterización como primer lugar de la fruta para luego realizar los gráficos correspondientes que permiten un análisis cercano a la producción en el área de siembra para el cultivo permanente de esta.

Palabras claves - Cultivo, cadena de abastecimiento, pasiflorácea.

ABSTRACT

This work aims to study the production chain of a specific work aims study the production chain of a specific fruit, passion fruit here. For this reason we implemented a design of system

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

dynamics model to establish the variables that incidents in the production of this, and be of great assistance to agriculture to determinate the profit per hectare under normal conditions in terrain, weather, ph soil, pests, relative humidity, number wages, number of teams, among others to implement their use by growers and marketers of de fruit.

Keywords – cultivation, supply chain management, passifloraceae.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque esta fruta es originaria del norte de India, en muchos países latinoamericanos se conoce la granadilla por su peculiar sabor entre dulce y ácido, así mismo también es conocida por sus propiedades positivas para la salud como su alto contenido de antioxidantes, lo cual ayuda a mejorar el sistema inmunológico. Otra cosa que atrae de esta fruta es su flor llamativa la cual es muy singular por su forma y color. Este tipo de frutas exóticas, son muy apetecidas para ser exportadas a diversos países en donde tienen una gran acogida, ya que estos no tienen las facilidades agrícolas para poderlos cultivar. El objetivo de este proyecto es llegar al agro y establecer la utilidad por hectárea, en condiciones normales de cultivo.

Debido a esto se han hecho numerosos estudios para poder satisfacer las necesidades de la demanda, ya sea a nivel de mercadeo o a nivel agrícola, y centrándose en este punto, se ha analizado la granadilla de una forma científica, en la cual se ha identificado sus propiedades, características, los diferentes requisitos que se necesitan para cultivarlo, y otros aspectos importantes que determinan el manejo de esta fruta comercialmente. Por medio de un estudio detallado de esta fruta, y con el uso de herramientas de ingeniería industrial como la

dinámica de sistemas, se optimiza el proceso productivo de la granadilla. En la cual se analizan una serie de variables, claves en el proceso de producción y comercialización de la granadilla, como el terreno a sembrar, los costos de jornales, maquinaria, la calidad del cultivo, demanda nacional e internacional, la tasa de crecimiento del mercado, entre otras. Este tipo de variables son analizadas y relacionadas de forma matemática y como resultado se puede determinar el posible comportamiento de la cadena productiva durante el tiempo, obteniendo los costos a utilizar y la producción a manejar en un determinado periodo de tiempo, entre otras.

2. ANTECEDENTES

A medida que en los últimos años se ha profundizado en la aplicación de la dinámica de sistemas en la industria, se ha encontrado con una serie de aplicaciones, en donde se analizan diferentes entornos, variables y la relación entre ellas para estimar pronósticos tendenciales del mercado, los cuales nos permiten ver a futuro como será el comportamiento de éste. En general la aplicación de la dinámica de sistemas en la producción se está implementando lentamente. En Colombia, actualmente es notoria la aplicación de esta herramienta en la industria, mientras en el campo, se han realizado diferentes tipos de modelos para algunas plantas, como por ejemplo la manzanilla. Con respecto a la granadilla no se presenta ningún modelo dinámico que relacione las diferentes variables que inciden en la producción y comercialización de ésta.

3. MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE LA GRANADILLA EN CUNDINAMARCA, COLOMBIA

La cadena productiva de la granadilla, empieza desde la selección del terreno y las semillas hasta lograr los tiempos para evitar deterioro de su calidad y determinar aspectos inherentes a la fruta como también logísticos que eliminen o reduzcan causas de deterioro.

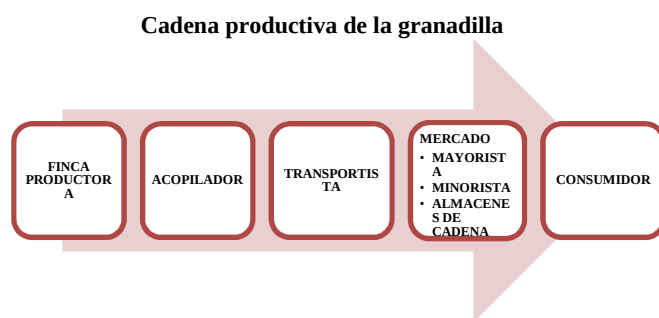


Figura1. Grafico Cadena Abastecimiento

3.1 Cultivo granadilla

Dentro de la familia de la passifloraceae, se encuentra el género de Pasiflora que comprende más de 500 especies nativas de

América Tropical, entre otros lugares. Los frutos de muchas de estas especies son comestibles¹.

Se reportan más de 450 especies originarias solo en América. En Colombia se reúnen cerca de 115 especies conocidas, las cuales se distribuyen en casi todos los pisos térmicos y regiones. La gastronomía incluye varias de ellas como frutas de mano para preparar sorbetes, esponjados, mermeladas, compotas, jugos néctares, helados, y han demostrado que pueden ser un promisorio reglón de exportación. Además de ello, algunas especies son propagadas como ornamentales o de jardín, uso que ofrece interesantes posibilidades para los mejoradores de plantas y diseñadores de jardines. Desde el punto de vista terapéutico, de este grupo vegetal se ha aislado al alcaloide “passiflorina”, principio activo utilizado como calmante nervioso. Los frutos y extractos de hojas de algunas de estas especies, se usan en medicinas populares como sedativas, antiespasmódicas, febrífugas, tenicidas y eméticos.

Entre las especies económicamente importantes, se incluye la granadilla “P.ligularis”. Para este caso se reporta que el valor nutricional y composición química del fruto, como se mostrará en la siguiente tabla. Expresada por cada 100 gr de parte comestible, es²:

Tabla 1. Tabla valor nutricional y composición química dela granadilla.

Calorías	46
Agua	86.06
Proteína	1.1 gr
Grasas	0.1 gr
Carbohidratos	11.6 gr
Fibra	0.3 gr
Cenizas	0.9 gr
Calcio	7.0 mg
Fósforo	30.0 mg
Hierro	0.8 mg
Riboflavina	0.1 mg
Ácido Ascórbico	20.0 mg
Niacina	2.0 mg

Pasiflorácea (pasión de Cristo)

¹ Manual para el cultivo de la Granadilla, *Passiflora Ligulais* Juss, Diego de Jesús Román Payán.

² Polonia, H., 1987, Manual para el cultivo de la Granadilla, *Passiflora Ligulais* Juss, Diego de Jesús Román Payán.



Figura 2. Flor de granadilla.

La planta de granadilla, como la mayoría de las Passifloraceae, presenta un hábito de crecimiento trepador. Algunos aspectos como la morfología y la estructura de la planta, revisten un interés muy especial, por cuanto marcan muchas pautas a seguir durante las fases de establecimiento y explotación del cultivo.

Granadilla



Figura 3. Diseño granadilla

3.2 Ficha técnica

Condiciones eco fisiológicas adecuados para el desarrollo del cultivo de la granadilla se muestran en la siguiente tabla³:

Tabla 2. Condiciones eco fisiológicas de la granadilla.

Variable	Rango óptimo
Altura (m.s.n.m)	1900 -2200
Temperatura (°C)	15-17
Precipitación (m.m)	1600-2000
Humedad relativa (%)	83-87
Luminosidad (horas)	7
PH	5.0-6.5

La tabla 2, muestra las condiciones básicas y óptimas para establecer un fruto, floración y vegetación adecuada para la planta de la granadilla, pues condiciones diferentes a las mencionadas pueden ser notorias en la producción de esta fruta, por ello las condiciones deben respetarse, desde la cantidad de semillas por hectárea, para lograr la optimización de producción,

³ EL cultivo de la Granadilla, Urrao.

que en muchos casos se llega a considerar de 35 toneladas por hectárea en el año.

Para el manejo del cultivo se considera que por ser una planta tipo trepador, se necesita una fibra o madera para subir a la cama o emparrado. Como se muestra en la siguiente figura⁴:

Emparrado de la granadilla



Figura 4. Manejo cultivo

3.3 Labores complementarias del cultivo de la granadilla

Control de malezas: El cultivo debe permanecer limpio en la zona de plateo, aproximadamente 3 metros de diámetro.

La desyerba debe hacerse con machete o guadaña, y a mano cerca de la base del tallo, ya que toda herida entre el cuello y la raíz puede facilitar la entrada de enfermedades como la “secadera”⁵.

Fertilización: Todo plan de fertilización en granadilla debe estar sometido a un previo análisis de suelo. El cultivo en desarrollo responde muy bien a las aplicaciones de materia orgánica.

Después del inicio de la floración, se aplican abonos compuestos con alto contenido de fosforo, en dosis de 250 gramos por planta en la zona de plateo cada dos meses, adicionando elementos menores.

Riego: No solo es indispensable en épocas de verano, sino durante todo el desarrollo del cultivo. Con un sistema de riesgo permanente se cosechan frutas todo el año

3.4 Plagas del cultivo

Las plagas y enfermedades atacan con preocupación, por ello es necesario el control de las mismas. Entre las más comunes encontramos “gusano cosechero”, no significa una plaga representativa económicamente pero afecta la planta en especial las hojas. Como otra se encuentra “encrespadores”, los cuales como su nombre lo dice son insectos que ocasionan encrespamientos, se presenta normalmente en época de verano, produciendo malformaciones. Por tercer lugar tenemos “chupadores arañas rojas”, atacando directamente a las hojas ocasionando amarilla miento general causando caída de las mismas⁶.

⁴ EL cultivo de la Granadilla, Urrao

⁵ EL cultivo de la Granadilla, Urrao.

⁶ El cultivo de la Granadilla, Urrao

Chinche



Figura 5. Fotografía daño causado por el chinche

Mosca de la fruta



Figura 6. Fotografía de daño causado por la mosca de la fruta

4. CADENA DE ABASTECIMIENTO

El mercado de la granadilla ha venido en continuo crecimiento a nivel nacional e internacional, la calidad y sabor de esta fruta aumenta, considerando aproximadamente un aumento en la producción del 3.2% anual (datos históricos del Ministerio de Agricultura)⁷.

Los centros de mayor consumo de la fruta a nivel nacional están ubicados en las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali, con muy buenas posibilidades de mercadeo en otros sitios del país⁸.

4.1 Primarios

Por los campesinos dueños de terrenos, que viven de la agricultura, dedicada su vida a la siembra y cultivos de plantas frutales, que abastecen a nivel nacional e internacional, por su calidad y sabor.

4.2 Servicios

Representados por todos los entes colaboradores al sector agrícola, empresas proveedores de tecnología de punta, entes de certificaciones de calidad, de exportación y mercadeo.

4.3 Comercializadores

El cuidado y empaquetado del producto es importante para llegar en perfecto estado a su destino, debido a que varían las condiciones climáticas de cada sector estos también cambian pues el transporte, tiempo condiciones dependerán exclusivamente de esto.

Para llevar a cabo este procedimiento es necesario la clasificación, limpieza y desinfección, secado, empaque, todo esto con el fin de facilitar el transporte y manipulación, conteo de la fruta.

4.4 Distribuidores

Debido a que la fruta no solo se consume en su estado, se puede someter a un proceso adicional para obtener néctar, aromática y compota, principalmente. Se considera que sus distribuidores están los supermercados, fruterías y centros de llegada de mercado.

5. PROBLEMÁTICA

Según datos del Ministerio de Agricultura del total de área sembrada para los frutales, la granadilla representa aproximadamente 5.8%⁹; entre los años de 1992 a 2000 presentó un aumento, en cambio en los siguientes años una fluctuación notoria en todo el país. Los agricultores del departamento de Cundinamarca, no conocen metodologías y herramientas como la Dinámica de Sistemas que les permita determinar los egresos, ingresos y utilidad, dentro del área sembrada, y facilite gestión de los recursos para beneficiar a toda la cadena de abastecimiento de la granadilla.

6. METODOLOGÍA

Muchos han realizados estudios por la gran acogida de esta fruta y la economía que representa en Colombia, por ello se realiza un estudio exploratorio en el departamento de Cundinamarca, como finca de producción y comercialización de granadillas de Urao, y la participación de municipios como Cota y Cabrera. Iniciando con un diagrama causal que mostrara las principales variables internas y externas para luego elaborar el diagrama Forrester, con las respectivas redes apoyado en el software Stella.

7. MODELO CAUSAL

Como es sabido existen variables internas y externas que influyen en el sistema productivo de la granadilla, de estos dependerán las bases para llevar a cabo la simulación.

⁷ Características y estructura de los frutales de exportación en Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

⁸ Manual del manejo de la Granadilla, Cosecha y Pos cosecha.

⁹ Características y estructura de los frutales de exportación en Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

DIAGRAMA CAUSAL PRODUCCIÓN GRANDILLA

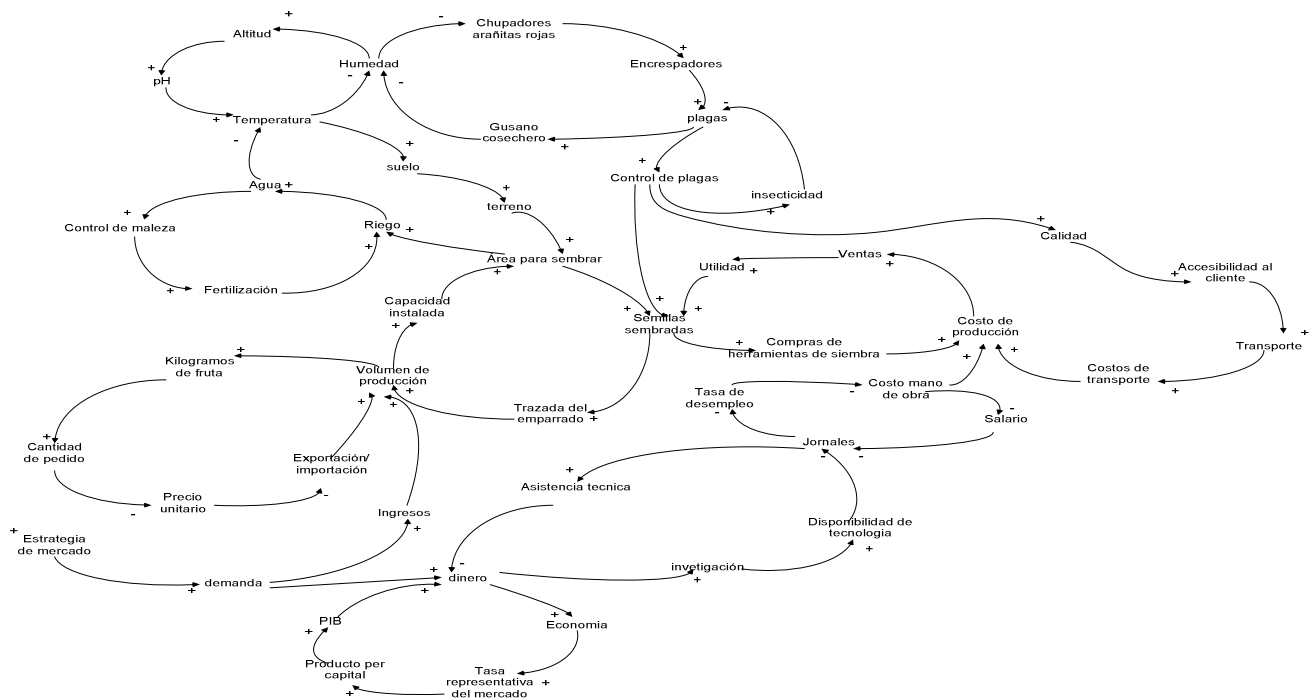


Figura 6. Esquema del diagrama causal de la cadena de abastecimiento de la granadilla.

8. MODELO DE FORRESTER

Debido al número de variables que se tiene se organizaron en subsistemas que permitieron la comprensión y coherencia del modelo. Para el caso del nivel total de producción, se considera el control de variables tales como clima, humedad, PH, que en realidad son exógenas, se tomó como referencia el rango óptimo como se mencionó en el cultivo de granadilla y entre otras variables que se controlan como calidad y cantidad.

RED PRODUCCIÓN FORRESTER

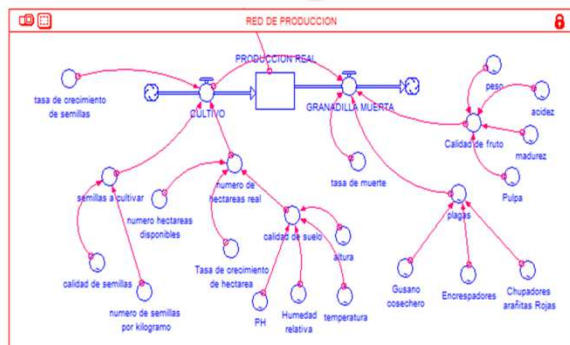


Figura 7. Subsistema de producción red de producción

De este subsistema que se observa, dependerán otros, como en el caso de la proporcionalidad que se tiene con la mano de obra y las ventas, figura 8 y figura 9.

RED DE JORNALES FORRESTER

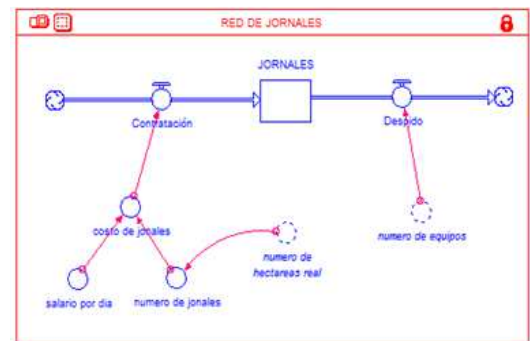


Figura 8. Subsistema de jornales en la producción.

RED DE VENTAS FORRESTER

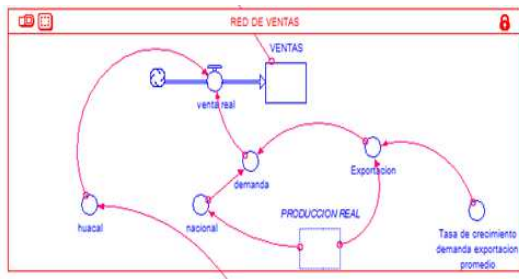


Figura 9. Subsistema de ventas en la producción.

La tecnología está aumentando y por ello genera costos y demás apreciaciones que pueden favorecer o no la calidad de la fruta, por tal razón se considera mejoras en la tecnología de punta y se estima que si automatizamos el sistema productivo se podrá disminuir costos en manos de obra y en grandes ocasiones aumento de las ganancias. Por ello a continuación se presenta un subsistema que relaciona los equipos utilizados en el sistema, figura 10.

RED DE EQUIPOS FORRESTER

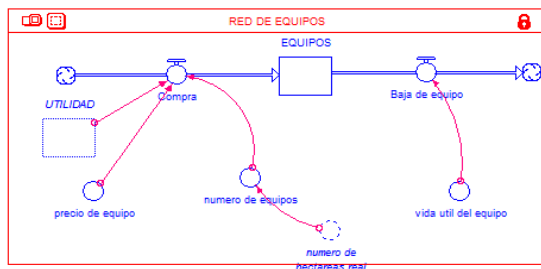


Figura 10. Subsistema de equipos en la producción.

Finalmente todos estos subsistemas afectan de forma positiva o negativa a la razón fundamental por la cual se desarrolla este modelo que es la utilidad. De ahí que en los resultados es necesario optimizar el beneficio que se presenta en una hectárea de producción de acuerdo a la cadena productiva.

RED DE UTILIDAD FORRESTER

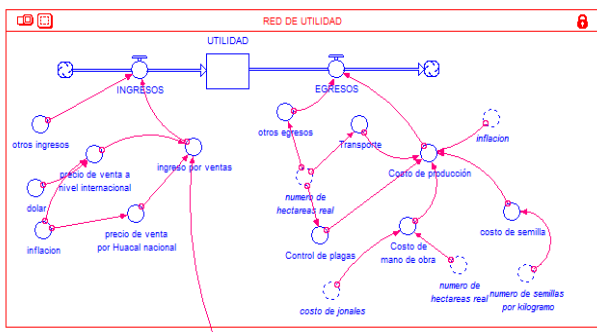


Figura 11. Subsistema de utilidad en la producción.

9. RESULTADOS

Al realizar la simulación se analizó costos reales para una hectárea de producción para la cantidad de semillas, número de jornales, equipo, entre otras variables internas; como también las variables externas: inflación, dólar, PIB, IPC, entre otras. Simulando el modelo para 12 meses, de ahí se obtiene un resultado esperado en la utilidad contra lo que relacionamos ese subsistema de ingresos y egresos. Como se observa en la figura 12, los egresos al comienzo incrementan notoriamente, y luego se estabilizan, los ingresos aumentan al transcurrir el tiempo, y la utilidad se incrementa en forma gradual como en el caso real.

GRAFICO DE UTILIDAD – INGRESOS - EGRESOS

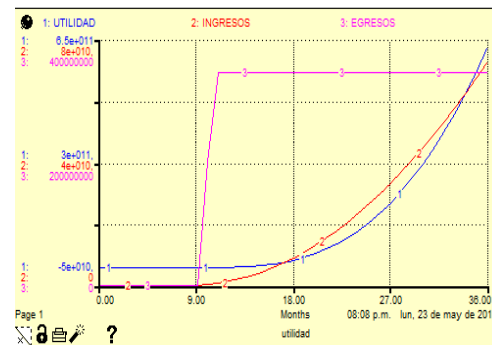


Figura 12. Resultados de la simulación para la utilidad

10. CONCLUSIONES

Los agricultores y empresas dedicadas a la producción de granadilla han mejorado sus ganancias debido al desarrollo que el mercado exige a los productores de implementar modelos, como el de Dinámica de Sistemas que garantizan la estimación de la demanda y permita simular y analizar de forma real este proyecto la cadena de abastecimiento de la granadilla concluyendo estimaciones de utilidad, egresos e ingresos que permitan analizar la producción.

11. REFERENCIAS

- [1] AGRONEGOCIOS LA REPÚBLICA. Colombia: aumenta el apetito por la granadilla. 2007.
- [2] ARACIL Javier; GORDILLO, Francisco. Dinámica de Sistemas alianza universitaria Texas, 1997.
- [3] BANCOS MEDIOS. Plan de desarrollo municipio de Cabrera- Cundinamarca, cambio y desarrollo social para Cabrera. 2004 – 2008.
- [4] BELTRÁN CASTIBLANCO, Soledad. Granadillas. Exposición. Bogotá. 1983.
- [5] CORREDOR TECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL, ACUÑA, John Fabio. Granadilla (*Passiflora Ligularis*): innovación y desarrollo para la exportación.
- [6] CRUZ AROSTEGUÍ, Teoblando. Guía para producción y manejo de la granadilla, proyecto rural. Wouter Hoenderdos.

- [7] FORRETER, Jay. Dinámica Industrial, editorial El Ateneo, 1981.
- [8] GALINDO PACHECO, Julio Ricardo; MAZORRA AGUDELO, Manuel Fernando. Granadilla (*Passiflora Ligularis* Juss): Producción y manejo poscosecha. SENA, Universidad Nacional de Colombia: Corpoica, 2010. Bogotá.
- [9] GARCIA, Juan Martin. Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas segunda edición, 2003.
- [10] Ejercicios avanzados en Dinámica de Sistemas segunda edición, 2011.
- [11] GARCÍA MUÑOZ, María Cristina. Manual de manejo cosecha y poscosecha de granadilla. Corpoica, 2008. Bogotá.
- [12] GARCÍA OCHOA, Iván. El cultivo de la granadilla. Ediciones gráficas. Cooperativa Integral de Urrao. Medellín, 1992.
- [13] GUÍA BÁSICA PARA EL ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL CULTIVO DE LA GRANADILLA. Biblioteca Luis Angel Arango. Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola. Bogotá, 2000.
- [14] HUERTAS FORERO, Isaac. Modelo de Dinámica de Sistemas para las hierbas orgánicas la manzanilla, 2010. Octavo congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas, 2010.
- [15] JARAMILLO ARANGO, Roberto. Monografías botánicas: la granadilla. Universidad de Antioquia. 1881-1965, Medellín.
- [16] LA GRANADILLA, Cultivemos, numero 18. Biblioteca Luis Angel Arango. Septiembre 30, 1989. 15p.
- [17] MEMORIAS. La Dinámica de sistemas para el efectivo tema de decisión y análisis estratégico de procesos. Octavo congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas, 2010.
- [18] MIRANDA, Diego. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. 2009, Bogotá. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.
- [19] PÉREZ SOLF, Víctor. Determinación del punto de equilibrio de la producción granadilla línea mejorada en una campaña. Consultores ProNaturaleza. Oxapampa, Octubre de 2006.
- [20] REINA, Carlos Emilio. Manejo poscosecha y evaluación de la calidad para la badea que se comercializa. Neiva. 1996.
- [21] RIVERA, Bernando. Manejo integral del cultivo de la granadilla. Universidad Nacional de Colombia. 2008, Bogotá.
- [22] ORTIZ, Ximena; ACEVEDO, Ximena; MARTÍNEZ, Héctor. Características y estructura de los frutales de exportación en Colombia.
- [23] ZARAGA SEBASTIAN, FRANCO CARLOS. Modelos de producción de palma de aceite, 2010. Octavo congreso latinoamericano de Dinámica de Sistemas 2010.

12. CURRICULUM

Isaac Huertas Forero, Magister en Investigación de operaciones y Estadística, U. Tecnológica de Pereira y Estadístico de la U. Nacional de Colombia, con una experiencia Bancaria de 25 años y de docencia de 27 años en diferentes universidades de Bogotá, profesor de Maestría, especialización y de pregrado, iniciando la investigación desde el año 2006 a la fecha con 3 investigaciones, una finalizada que se presentó en el IV congreso de dinámica de sistemas y dos en curso, una de ellas que se presenta al VIII congreso de dinámica de sistemas en la ciudad de Medellín, Colombia.

Johana Katherine Clavijo Rondón, estudiante de ingeniería industrial de la universidad militar nueva granada, de noveno semestre. Estudiante destacada por su participación, en grupo de investigación, jóvenes semilleros.

John Alexander Buitrago Pérez, estudiante de ingeniería industrial de la universidad militar nueva granada, de noveno semestre. Estudiante destacado por su participación, en grupo de investigación, jóvenes semilleros.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo de Dinámica de Sistemas para las Frutas Orgánicas - El Lulo

System Dynamics Model for Organic Fruits - The Lulo

Isaac Huertas Forero. Msc
isaachuertasf@hotmail.com

Ing. Mario Ramón Verástegui
marioramon@gmail.com

Lida Ariza Puentes
U2901461@hotmail.com

Laura Camila Fernández
U2901287@unimilitar.edu.co

RESUMEN

En Colombia, un país agrícola, se ha intentado explotar al máximo el terreno cultivando cualquier cantidad de alimentos orgánicos para aumentar los ingresos de la economía del país. Se han llevado a cabo estudios pero ninguno de ellos ha podido abarcar el total de las variables que se deben tener en cuenta para tener un exitoso desenlace. Con este trabajo se pretende realizar un estudio detallado de la cadena productiva y de comercialización del Lulo, una de las frutas tropicales por excelencia de la naturaleza colombiana. De acuerdo al Censo Nacional los departamentos líderes en producción de lulo son el Huila, Boyacá y Cauca. Sin embargo nuestro estudio va dirigido a un cultivo de lulo ubicado en el municipio del Peñón en el departamento de Cundinamarca, en el cual se basa en un Modelo en Dinámica de Sistemas con el fin de conocer todo lo que influye en la producción de esta fruta, y así optimizar al máximo el uso de los recursos y evitar la mayor cantidad de riesgos presentes.

Palabras Claves

Cadena productiva y comercializadora, Lulo, Riesgos financieros.

ABSTRACT

In Colombia, an agricultural country, has tried to exploit the land growing organic food without to increase the income of the country's economy. Have conducted studies but none has been able to cover the whole of the variables that must be taken into account

for a successful outcome. This work aims to conduct a detailed study of the production chain and marketing of Lulo, a tropical fruit par excellence of the Colombian nature. According to National Census in production departments of lulo leaders are Huila, Cauca and Boyacá. However, out study is aimed at a growing lulo localized in town of Peñón in the department of Cundinamarca, in which we will build on a System Dynamics Model to know everything that influences the production of this fruit, and optimize the best use of resources and avoid as many risks involved.

Keywords

Productive and marketing chain, Lulo, financial risks.

1. INTRODUCCIÓN

Una fruta es un conjunto de frutos comestibles que se obtienen de plantas cultivadas o silvestres, pero a diferencia de los otros alimentos vegetales (hortalizas y cereales), las frutas poseen un sabor y aroma intensos y presentan unas propiedades nutritivas diferentes.

El lulo (*Solanum quitoense*) ó naranjilla pertenece a la familia de las Solanáceas, es una fruta tropical y exótica de clima frío moderado originaria de las zonas interandinas de Suramérica.

El siguiente trabajo se encargará de dar un breve pero completo análisis de las variables que componen el sistema productivo y de

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

comercialización del lulo, evaluando todos y cada uno de los riesgos que presenta el cultivo de esta fruta, los cuales son las plagas, el cambio brusco de clima, los niveles de humedad fuera de los límites aceptables, entre otros. Para esto se aplicará la dinámica de sistemas, desarrollando el diagrama causal y de forrester; para establecer la rentabilidad en un área cultivada de 26 hectáreas en condiciones normales.

2. MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA CULTIVO DEL LULO

2.1 Agricultura de Frutas

El lulo o naranjilla es una planta originaria de los bosques húmedos de los Andes de Sudamérica, más específicamente en Colombia, Ecuador y Perú, en regiones frescas y sombreadas. Esta especie que se ha difundido a lo largo del Continente Americano, desde Chile hasta México, se cultiva en países como Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica y Honduras.

La cadena de producción y comercialización de la fruta tropical el lulo, consiste inicialmente en seleccionar el lote adecuado para realizar el cultivo. Figura 1.



Figura 1: selección del lote

El siguiente paso sería seleccionar la tierra (negra), desinfectarla con formol y agua hervida, fumigarla, se moja bien, se revuelca, se vuelve a tapar y se embolsa en bolsas negras. Figura 2.



Figura 2: Alistar y embolsar la tierra

Luego se escoge una buena semilla, es decir, el fruto se deja fermentar, se estruja, se saca la semilla y se lava. La semilla que queda en el fondo es la que sirve, se deja secar a la sombra para que seque con el aire. Es importante que los frutos sean grandes, sanos y que provengan de matas sanas. Figura 3.



Figura 3: Selección de semilla

Ahora el siguiente paso es sembrar dos semillas por bolsa; si germinan o nacen se entresacan y con ellas se puede reemplazar a las que se mueren. A los 12 días nace, se deja dos meses y luego se pasa al lote. Figura 4.



Figura 4: Siembra de la semilla

Luego se debe rosar y picar lo grande del lote, se traza éste a 3x3 metros y finalmente se ahoya a 30 por 30 centímetros. No se debe sembrar tan hondo. Figura 5.



Figura 5: Rosar, trazar y ahoyar

Lo siguiente que se debe hacer es transplantar la mata y se tapa con tierra buena. A los 15 días o 3 semanas se hace la primera visita donde se hace la primera abonada (30 gramos por planta). A los 60 días o dos meses, se hace la segunda abonada pero se aumenta a 70 gramos por mata, y luego si se abona cada dos meses. Este abono se debe regar lejos del tallo de la planta, donde van las raíces. Figura 6.



Figura 6: Trasplante y abono de la mata

Luego se limpia según la altura de la maleza, se roza a 10 centímetros de alto, con machete o a mano, a lo que se le denomina Champoliar. El trato debe ser constante y los residuos se dejan en el sitio para preservar la humedad. Figura 7.



Figura 7: Champoliar

Después de esto, se debe empezar a prevenir las plagas y enfermedades. Esto debe llevarse a cabo junto con un técnico especializado, y cualquier cultivo que esté ya enfermo se debe destruir de forma inmediata para que no contamine a los que se encuentran alrededor. Figura 8.



Figura 8: Prevención de plagas y enfermedades

Luego de esto, se debe podar o deschuponar, para que la mata coja fuerza y tenga luz y aire. La primera podada se debe hacer a los dos o tres meses (cuando la mata tiene 25 centímetros de altura) dejando 3 ó 4 hojas en la parte de arriba.

Luego se realiza la poda para formar la planta. No se hace sino hasta cuando la mata comience a floriar, dejando solo las ramas principales. Figura 9.



Figura 9: Deschuponar (podar)

A los 10 meses aproximadamente, da los primeros frutos y se recoge cada 2 ó 3 semanas, con guantes de cuero. Los frutos se

recogen en tulas y baldes y se saca inmediatamente en venta al mercado para evitar su daño. Figura 10.



Figura 10: Cosechar¹⁰

2.2 Ficha Técnica

El lulo requiere sombrío, fertilización y humedad. Es una planta semi-silvestre en vía de domesticación que debe acondicionarse a plena exposición solar para obviar problemas ecológicos y para conseguir por parte de los productores períodos productivos más prolongados bajo este conjunto de condiciones.

En plantaciones a libre exposición solar, después de la siembra hasta la primera cosecha, transcurren en promedio 240 días, dependiendo de la altitud. Una vez se inicia la cosecha, ésta es continua. El cultivo puede alcanzar una vida útil de dos años con un adecuado manejo.

Las distancias de siembra dependen, entre otros factores, de la topografía del terreno y de la fertilidad del suelo. La distancia de siembra más apropiada es de 3 metros entre surcos y 2 metros entre plantas, para una densidad de 1.666 plantas / ha.

La poda en lulo se hace con fines tales como mejorar la estructura de la planta, producir frutos de mayor tamaño, facilitar el manejo del cultivo, eliminar ramas y hojas secas, deformes o enfermas, entre otros.

Se deben hacer dos tipos de poda: la poda de formación, que consiste en eliminar los brotes o chupones del tallo por debajo de los 50 cm de altura, con el fin de evitar el crecimiento excesivo de ramas, mejorar el tamaño de frutos y disminuir la humedad relativa dentro del cultivo para evitar la presencia de enfermedades; y la poda de mantenimiento que consiste en remover partes secas, viejas y enfermas de la planta, para disminuir la incidencia de problemas fitosanitarios.

El plan de fertilización debe iniciarse al cuarto mes de realizada la siembra, después de la poda de formación. A nivel comercial se tiene la fertilización química con 900kg/ha de una fórmula completa tipo 10-30-10, más la adición de 4 a 5 t/ha de materia orgánica, fraccionadas en 3 o 4 aplicaciones durante el año. En cuanto a fertilizantes menores se tiene que deben aplicarse 150 kg/ha al año, dividida en dos aplicaciones semestrales.

Se recomienda realizar tres o cuatro huecos de unos 10 cm de profundidad alrededor de la planta para depositar allí los fertilizantes y luego cubrirlos.

¹⁰http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Cultivo%20de%20lulo.pdf

En clima medio las plantas inician su producción entre 5 y 7 meses y en clima frío lo hacen entre 7 y 9 meses, en promedio.

Si queremos alcanzar altos rendimientos y frutos de la mejor calidad, debemos respetar estas preferencias que, en el caso que nos ocupa, son temperaturas entre 16 y 22 °C, altitud entre 1300 a

2300 m.s.n.m., pluviometría de 1500 a 2000 mm/año bien distribuida, suelos ricos en materia orgánica, profundos, bien drenados, con pH en un rango entre 5.5 - 6.5 y de textura franca hasta franco arenoso o franco arcilloso. En estas condiciones, los rendimientos puede ser de hasta 27 ton/ha con 3.000 plantas por hectárea.

3. CADENA LOGÍSTICA



Figura 11: Cadena logística. Fuente

En la cadena logística presentada en la Figura 11 se puede observar un caso general, pero no aislado de la realidad, en el cual el agricultor o campesino tiene unos costos de producción de \$2'000.000 ha / año, con un promedio de plantas de 3.320 unidades y un precio de venta del fruto de \$1400/ kg para los intermediarios, los cuales son los encargados de distribuir la fruta a los supermercados, galerías y procesadoras, por un precio de \$1.800 / kg, y cada una de estas lo vende a sus clientes a “3.200 / kg, \$1.800 / kg y \$2.900 / kg, respectivamente.

Con los anteriores datos se deduce que el costo unitario de cada una de las plantas es de \$602 aproximadamente. Es este estudio se determinó que por cada planta se obtiene 1 kilogramo de lulo, lo que corresponde a \$1.204 el costo por kilo en la producción de lulo.

3.1 Productores Primarios

En este rubro se contemplan todos y cada uno de los agrícolas, agrónomos y campesinos colombianos, en especial de la zona Andina, quienes con ayuda de las asociaciones de agricultores o productores, son los encargados de la siembra y el cultivo del lulo en sus terrenos.

3.2 Servicios

Colombia, por su envidiable situación estratégica, con relación al resto del mundo, cuenta para el desarrollo del sector frutícola con áreas extensas y condiciones naturales de suelos, régimen de lluvias, altura sobre el nivel del mar, cercanía a los mercados nacionales de consumo y facilidad de acceso a los puertos sobre el

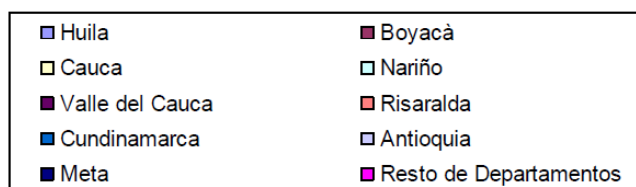
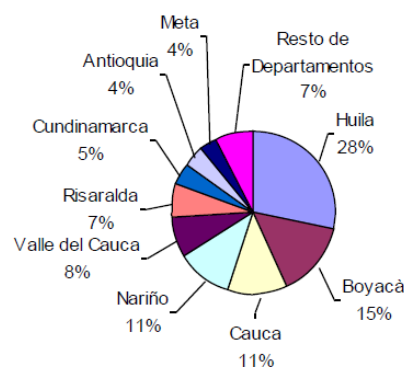
Atlántico y Pacífico, además de las condiciones apropiadas para que las frutas se encuentren disponibles durante todo el año para su proceso y así atender los mercados nacionales e internacionales.

Entre los servicios se encuentran todas las personas que proporcionan investigación y desarrollo, como las universidades, los centros de estudio, centros de desarrollo tecnológico, así como cumplen la función de proveedores de transferencia tecnológica.

La Confederación Empresarial del Campo se encuentra vinculada a la producción nacional de lulo, a través de las cooperativas agropecuarias de Ubalá y Gama, en Cundinamarca; y Almeida, en Boyacá, las cuales producen 254.9 toneladas, a través de cultivos que han demandado de los pequeños productores inversiones cercanas a los 238 millones de pesos, así como un total de 44.2 hectáreas.

Como se mencionaba anteriormente, y de acuerdo a estudios realizados por el Censo Nacional los departamentos líderes en producción de lulo son el Huila, Boyacá y Cauca.

Tabla 1. Tarta de participación de lulo a nivel nacional



FUENTE: Secretaría Técnica Cadena de Frutas. 2005

Lo que indica que Cundinamarca tiene un 5% de participación en la producción de lulo a nivel nacional.

3.3 Comercializadores

Dentro de comercializadores del fruto se presentan los fruver, supermercados, galerías, procesadoras de pulpa, mercado especializado e industrias.

3.4 Distribuidores

Tiendas especializadas, supermercados, empresas procesadoras de pulpa.

4. PROBLEMA

Actualmente se dice que el consumo de fruta se ve afectado por las temporadas de vacaciones, verano e invierno. El lulo es una fruta muy apetecida por su sabor en cualquier época del año, pero su constante escasez y alto costo aumentan su precio por lo que disminuye su demanda, sobre todo por parte de las empresas procesadoras.

Adicional a esto, se evidenció en el análisis previo que Cundinamarca cuenta con una gran variedad de clima, con unas regiones ideales para su cultivo y solo con un 5% de participación en la producción de lulo a nivel nacional, por lo que se considera como falencia o problema a resolver.

El mercado se analizó según estudios previos encontrados en el desarrollo del proyecto investigativo, y, adicional a eso, se emplearon datos y variables del terreno productor de lulo situado en el Peñón, Cundinamarca, Colombia.

Por medio de este proyecto, se pretende establecer un método de control de las variables, tanto internas como externas, previendo

sus cambios, los posibles valores que puedan tomar, y, así mismo, establecer un estudio detallado del mercado para determinar la viabilidad y factibilidad del mismo, fortaleciendo la toma de decisiones para lograr una eficiencia y eficacia en el sistema.

5. METODOLOGÍA

A partir de los datos suministrados con anterioridad, se realizó un estudio exploratorio de caso en una finca del Peñón, Cundinamarca para simular el comportamiento del sistema productivo y la cadena logística de la fruta Lulo, utilizando el software Stella, apoyado en herramientas tales como el diagrama causal y la especificación de cada una de las redes de interconexión en el modelo de Forrester.

6. MODELO CAUSAL

En la Figura 12 se presenta el diagrama causal, en donde se presenta cada una de las relaciones existentes entre las diferentes variables del sistema productivo del lulo y la cadena logística, la importancia y el comportamiento de cada una de ellas.

Se enfatizó en algunas de estas variables que se consideran de mayor importancia sobre las demás como son el nivel de producción, la utilidad generada por ésta, los riesgos existentes en el mercado, y los diferentes costos y gastos.

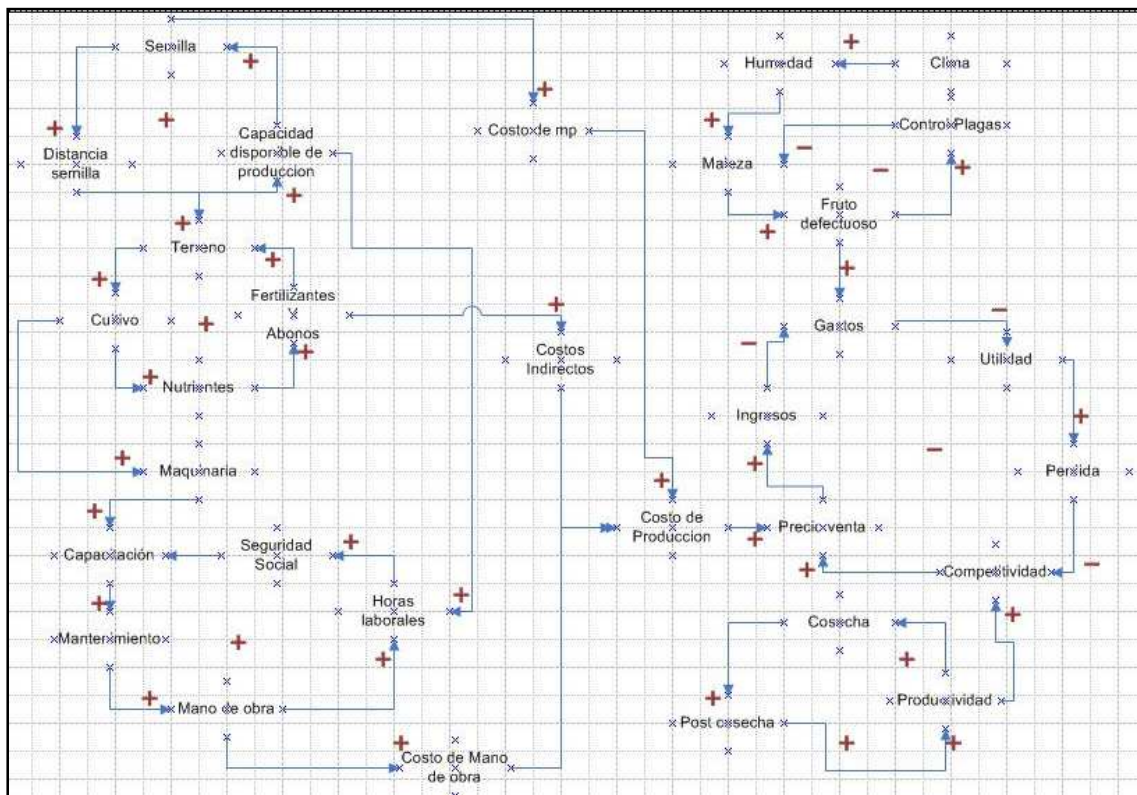


Figure 12: Diagrama Causal

7. MODELO DE FORRESTER

El modelo de Forrester es una herramienta en la cual se pueden exponer cada una de las variables que componen el sistema productivo del lulo. A continuación en las Figuras 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 se estudiarán con mayor detenimiento el crecimiento o decrecimiento de la producción total, la utilidad generada, y el nivel de ventas nacionales al país e internacionales a México. Allí se incluyen las operaciones que componen la cadena logística, junto con los riesgos financieros que intervienen en este.

A continuación se presenta la tabla de la Figura 13, en el cual se identifican las variables que intervienen en la producción de la fruta El Lulo, como lo son la humedad, el clima, el ph y los fungicidas y fumicidas necesarios para que el terreno y la cosecha estén siempre aptos para producir frutos de excelente calidad.

Además se establece la cantidad de terreno existente y la distancia entre cada planta para determinar la cantidad de plantas y frutos a cosechar en períodos mensuales durante los dos años del estudio de la simulación.

Del otro lado se encuentra la pérdida de fruta, la cual constituye un 17% aproximadamente del total de la cosecha, que se vende a un precio mucho menor para procesadoras de pulpa de lulo. Los frutos óptimos son finalmente comercializados y distribuidos.

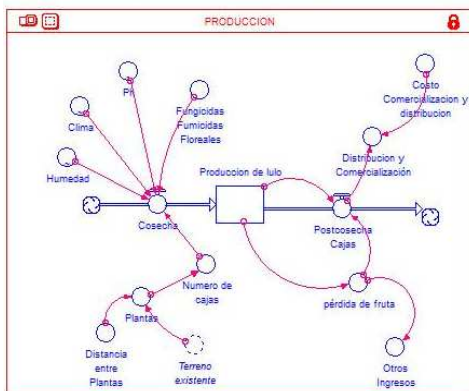


Figura 13: Producción de Lulo

En la Figura 14 se presenta las variables que intervienen en el estudio de la rentabilidad del sistema productivo del cultivo de lulo. Se determina restándole la suma de los costos indirectos correspondientes a los servicios públicos (agua), el costo de compra de herramienta, la mano de obra necesaria para el mantenimiento y recolección de la fruta, los costos de inventario en cuartos fríos y los de distribución y comercialización, a los ingresos obtenidos por las ventas nacionales, las exportaciones y otros ingresos correspondientes a las ventas de fruto no óptimo.

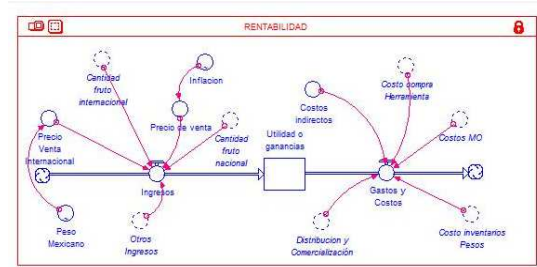


Figura 14: Rentabilidad

Estos valores simulados en las variables anteriormente mencionadas se especifican con mayor detenimiento en la Figura 15, gráfica que corresponde a los datos de la rentabilidad durante la simulación de los dos años del cultivo de lulo. Allí se evidencia que la rentabilidad presenta un incremento constante mes a mes de dinero, lo cual establece que un incremento en el mercado del lulo en el departamento de Cundinamarca proporcionaría ganancias representativas a sus productores.



Figura 15: Gráfica de la Rentabilidad

En la figura 16 se establece la relación que se presentan en la variable de las ventas que efectúa la empresa a nivel nacional. Allí se estudian las variables como lo son la cosecha que sale óptima para la venta, el nivel de calidad promedio presente en ésta para determinar la cantidad real vendida a nivel nacional, Para así determinar la oferta existente con la que se busca suplir la demanda pronosticada.

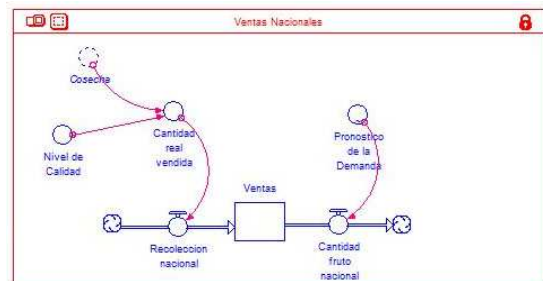


Figura 16: Ventas Nacionales

Gráficamente, se presenta las variables y el comportamiento que ésta presenta a lo largo de los dos años del estudio de la simulación en la anterior Figura 17.

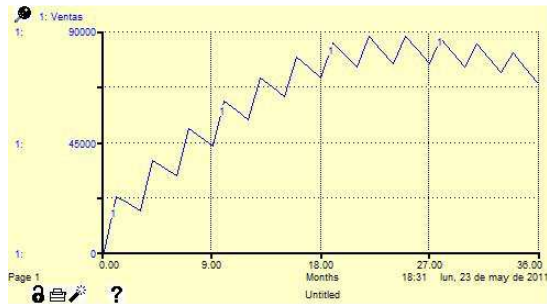


Figura 17: Gráfica Ventas nacionales

Finalmente se destacan las exportaciones simuladas por la empresa en los dos años de estudio, cuyos valores se presentan en las siguientes figuras 18 y el comportamiento de la misma en la Figura 19.

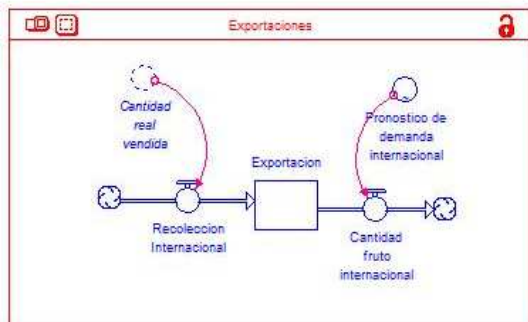


Figura 18: Exportaciones a México

La cantidad que se estableció para las exportaciones realizadas en la simulación al país de México del total de las frutas cosechadas es el 30%. En este nivel de Exportación también se hace una comparación y se estudian los datos de la demanda pronosticada a nivel internacional, y la oferta o cantidad real vendida de los frutos óptimos cosechados en Cundinamarca.

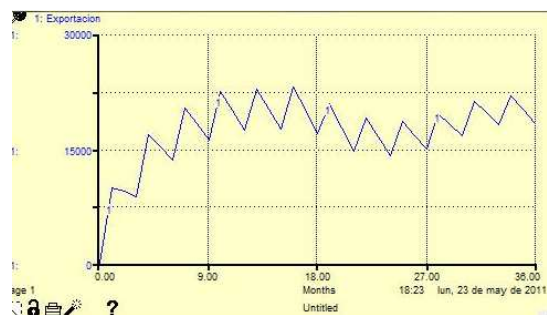


Figura 19: Gráfica comportamiento de las exportaciones

8. RESULTADOS

A partir de una serie de consultas e investigaciones para realizar nuestro modelo de producción de la fruta lulo, tomamos como referencia un terreno de 26 hectáreas con sus respectivos costos y gastos en un periodo de 36 meses (3años). Como se muestra a continuación en la grafica el lulo tiene una alta oferta en 9 meses, y oferta media en dos meses durante un año

respectivamente. Lo que corrobora que esta fruta es apetecida por los colombianos.

Tabla 2: Tabla de estacionalidad de la cosecha de lulo en Colombia

PRODUCTO	ESTACIONALIDAD	EPOCAS DE COSECHA											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
CHOLUPA	REGIONAL												
	NACIONAL												
GRANADILLA	REGIONAL												
	NACIONAL												
LULO	REGIONAL												
	NACIONAL												
MARACUYA	REGIONAL												
	NACIONAL												
MORA	REGIONAL												
	NACIONAL												
TOMATE DE ARBOL	REGIONAL												
	NACIONAL												
UVA	REGIONAL												
	NACIONAL												

FUENTE: Corporación de Abastos de Bogotá S.A. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

CONVENCIONES:
 OFERTA ALTA
 OFERTA MEDIA
 OFERTA BAJA

Como se muestra en la figura 15 (Gráfica de rentabilidad) se observa que hasta este periodo los ingresos y utilidad aumentan significativamente, lo que para la empresa es de gran importancia, ya que muestra la rentabilidad generada. El costo de un kilo de lulo sale aproximadamente a \$ 1.100, y para los intermediarios (mayoristas de abastos) es de \$2.300 Kg, lo cual genera una rentabilidad del 47.82%

Cómo se vio en la grafica ubicada en el numeral 3.2 correspondiente a servicios del porcentaje de participación del mercado del lulo en Colombia, se evidenció que el de mayor porcentaje es el departamento del Huila con un 28%, a diferencia del de Cundinamarca, el cual solo presenta un 5%. La innovación de este proyecto investigativo es, como se ha destacado a lo largo del mismo, aumentar la participación en el mercado del lulo por parte del departamento de Cundinamarca, para así brindar mayor empleo, calidad de vida, bienestar y oportunidad de desarrollo a los campesinos de la región.

9. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación nació de la necesidad que actualmente existen en muchas empresas productoras a cerca de un modelo que permita aplicar de manera conjunta y estructurada la ventajas que ofrece dichos mercados.

La finalidad de este proyecto fue guiar a la empresa cultivadora y comercializadora de lulo a implementar un modelo de dinámica de sistema, que por ende disminuya costos de producción y apoye a la competitividad de la empresa, haciéndola más productiva y alcanzando los índices de calidad exigidos por sus clientes tanto a nivel nacional como internacionalmente.

El lulo es un fruto que genera una rentabilidad debido a que su demanda no tiende a ser estacional. Es un fruto que en un año tiene una alta oferta durante 9 meses y una media oferta durante 2 a nivel regional, es decir, constantemente se está cosechando.

En cuanto a la rentabilidad del cultivo, se evidencia un rendimiento del 47.82%, ya que la empresa vendía el kilo a \$1.400 y, con datos actuales del centro mayorista Abastos, se

dedujo que está en \$2.300. Adicional a esto, se evidenció mejoras en el costo unitario del producto de 8,6%, disminuyendo de \$1.204 a \$1.100.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] INDUCCIÓN DE ACTIVIDAD PERÓXIDA Y DE FENOLES TOTALES COMO RESPUESTA DEL FRUTO DE LULO (*Solanum quitoense* L.) AL PATÓGENO CAUSAL DE LA ANTRACNOSIS
- [2] “ALIANZA PRODUCTIVA DE LULO”
En los Municipios de Dosquebradas y Santa Rosa en el Departamento de Risaralda
- [3] OPTIMIZACIÓN DE LA REGENERACIÓN DE LULO (*Solanum quitoense*), ORIENTADA A LA TRANSFORMACIÓN GENÉTICA DE PLANTAS.
- [4] BOLETÍN MENSUAL DE ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS EN LOS PRINCIPALES MERCADOS. No 8 Vol. 2
- [5] COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS Y CANTIDADES DE LAS FRUTAS LULO Y TOMATE DE ÁRBOL.
- [6] TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PROFESIONAL
Saray Figueroa Ortiz Tecnológica FITEC
Gestión Agropecuaria
Ciencias biológicas, agronómicas y afines
Bucaramanga, 2009
- [7] PRECIOS MAYORISTAS
Se analiza el comportamiento de los precios y precios promedios a nivel nacional del lulo.
http://www.huila.gov.co/documentos/A/acuerdo_regional_fruticola_2008.pdf
- [8] García, Juan Martín. (2003), Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas (2ª ed.)
- [9] Arcacil, Javier. Y Gordillo, Francisco. (1997), Dinámica de sistemas. Alianza Universidad Textos.
- [10] García, Juan Martín. (2011), Ejercicios avanzados en dinámica de sistemas (2ª ed.)
- [11] Forrester, Jay. (1981), Dinámica industrial. Ed. El Ateneo.
- [12] Memorias, La dinámica de sistemas para la efectiva toma de decisiones y análisis estratégico de problemas, 8º congreso latinoamericano de dinámica de sistemas 2010.

- [13] Huertas, Isaac. Y Verastegui, Mario. (2010), Modelo de dinámica de sistemas para las hierbas orgánicas: La Manzanilla. 8º Congreso.
- [14] Zapata, Sebastián. (2010), Modelo de producción de palma de aceite. 8º Congreso.
- [15] Normas APA para bibliografía.

11. WEBIOGRAFÍA

- <http://www.google.com.co/search?sourceid=chrome&ie=UTF-8&q=agricultura+de+frutas>
- <http://www.youtube.com/watch?v=RzVCgJrRXr4>
- <http://www.ellulo.com/>
- http://www.agro.unalmed.edu.co/agrodocs/index.php?link=ver_docs&id=81
- [http://www.docstoc.com/docs/50154212/Formato-de-Paper-\(IEEE\)](http://www.docstoc.com/docs/50154212/Formato-de-Paper-(IEEE))
- <http://www.monografias.com/trabajos37/procesadora-frutas/procesadora-frutas4.shtml>

12. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Militar Nueva Granada, quienes en compañía del profesor encargado Isaac Huertas Forero Msc. y el tutor de la Materia de Simulación II Mario Ramón Verastegui nos acompañaron y guiaron en todo el proceso de desarrollo de esta investigación interdisciplinaria.

13. CURRÍCULUM

Isaac Huertas Forero, Magister en Investigación de Operaciones y Estadística, U. Tecnológica de Pereira y Estadístico de la Universidad Nacional de Colombia, con una experiencia Bancaria de 25 años y de docencia de 27 años en diferentes universidades de Bogotá, profesor de Maestría, especialización y de pregrado, iniciando la investigación desde el año 2.006 a la fecha con tres investigaciones, una finalizada que se presentó al IV Congreso de Dinámica de Sistemas y dos en curso, una de ellas que se presentó al 8 Congreso de Dinámica de Sistemas en la ciudad de Medellín, Colombia.

Mario Ramón Verastegui, Ingeniero Industrial de la U. Militar Nueva Granada; presta sus servicios de asesoría para el proyecto.

Semillero de investigación:

Lida Ariza Puentes y Laura Camila Fernández García, estudiantes de ingeniería industrial cursando actualmente noveno semestre en la Universidad Militar Nueva Granada.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo Sistémico para el Manejo de Residuos Sólidos en Instituciones Educativas en Colombia

Systemic Model for solid waste management in educative institutions in Colombia

Danny W. Ibarra V., Esp.
ingbiodanny@gmail.com

Johan M. Redondo O., MSc.
galileo@ima.usergioarboleda.edu.co

RESUMEN

En este trabajo, presentamos un modelo desarrollado con la metodología de la Dinámica de Sistemas, para la gestión de los residuos sólidos que se generan en las instituciones educativas; a sabiendas que el adecuado manejo de estos residuos siempre se ha presentado como una problemática ambiental difícil de afrontar en tales instituciones, ya sea por falta de presupuesto para la inversión de programas de educación ambiental o por simple desconocimiento de herramientas para lograr resultados óptimos. El principal problema es que gran parte del presupuesto de tales instituciones se ve afectado por el alto costo del servicio del aseo, debido a una generación excesiva de residuos de los cuales no se realiza ningún tipo de aprovechamiento. Para esto hemos planteado un modelo en el que se relacione las variables cantidad de residuos, el presupuesto de las instituciones y los residuos reciclados. Siendo este modelo el primer resultado de nuestra investigación en dirección a ese propósito.

Palabras Clave

Residuos Sólidos, Educación Ambiental, Reciclaje, Dinámica de Sistemas

ABSTRACT

In this paper, we present a model developed with the methodology of System Dynamics, for the management of solid waste generated in the educational institutions. Since the appropriate management of this waste has always presented a difficult environmental problem faced in such institutions, either for lack of funds for investment in environmental education programs or simple lack of tools to achieve optimal results, because as is well known most of the budget of these institutions is affected by the high cost of cleaning service in those in which there is made good use of waste and for this we have proposed a model in which the variables are amount of waste, the budget of the institutions and their relationship to environmental education. This model was the first result of our research toward this end

Keywords

Solid Waste, System Dynamics, Environmental Education, Recycling

1. INTRODUCCION

En nuestro país no hay una cultura sólida de manejo de los residuos y del reciclaje cuyo propósito sea el de separar en la fuente, reutilizar el material y disponer adecuadamente de los residuos [1].

Un residuo sólido está definido según la legislación colombiana como, cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final [5]. Estos se clasifican en aprovechables y no aprovechables.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Los aprovechables son los que tienen un potencial para ser reutilizados o reciclados con el fin de introducirlos de nuevo en el ciclo económico.

Los residuos sólidos siempre representan un problema ambiental, para todos los grandes y pequeños generadores. El problema persiste cuando no se le da ningún tipo de aprovechamiento a los residuos, se entiende por aprovechamiento a el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos [5,12].

En Colombia se ha establecido un régimen legal bastante amplio para el manejo de los residuos. Entre las más conocida están el decreto 1713 de 2002 en el que se resume un concepto técnico para darle una gestión integral a los residuos sólidos [3]. Y La ley 142 de 1994 que contiene las reglas generales aplicables a los servicios públicos, entre ellos el servicio de aseo. Esta legislación cubre a todos los generadores de residuos en Colombia, incluyendo las instituciones educativas, estas a su vez dependiendo del número de residuos que generen se clasifican en grandes generadores o pequeños generadores, Siendo grandes los que generen más de 1 m^3 y pequeños los que generen menos de 1 m^3 mensual [5,10]. Teniendo en cuenta esto y la densidad de los residuos que es 0.25 ton/ m^3 , la mayoría de los colegios en Colombia entraría a la clasificación de grandes generadores de residuos.

El servicio público de aseo para estos grandes generadores tiene la posibilidad de un cobro que se basa en el volumen o peso de los residuos, y se estableció en el artículo 146 de la Ley 142 de 1994, y dice que la empresa y el suscriptor o usuario tienen derecho a que los consumos se midan, a que se empleen instrumentos de medida que la técnica haya hecho disponibles; y a que el consumo sea el elemento principal del precio que se cobre al suscriptor o usuario [10]. Es decir la producción de residuos generados por los usuarios es el elemento principal para el cobro del servicio, por tanto, la medición de la producción de residuos es un derecho del usuario o suscriptor y una obligación del prestador del servicio de aseo.

Es por esto que durante los últimos años se han estado buscando soluciones a esta problemática de los residuos sólidos y la educación ambiental con el fin de disminuir la generación de residuos en las instituciones educativas.

El objetivo de este trabajo, es crear un modelo a través de la metodología de la dinámica de sistemas que nos permita ver el manejo de los residuos sólidos en las instituciones educativas con el fin de poder llegar a las instituciones educativas y sensibilizarlos con nuestro trabajo y mostrar, que el aprovechamiento de los residuos se puede implementar de manera eficiente y lograr un manejo sostenible de dichos residuos.

Para tratar de entender esta problemática de una manera sistémica, se estableció como variables, la cantidad de residuos sólidos generados, el presupuesto de la institución y los residuos reciclados. Fue posible demostrar por medio de las simulaciones del modelo con el software *Stella 9.0.2* que la generación excesiva de residuos sólidos, causa en detrimento en el presupuesto de las instituciones educativas y que por ende, se debe aumentar la inversión en los planes de gestión integral de residuos sólidos para poderles dar un manejo sostenible

1.1 Proyectos Educativos Ambientales

Dentro de los alcances del gobierno nacional, en el año 2002 se le dio impulso a una política nacional de educación ambiental. En la que se promovió los proyectos ambientales escolares (PRAES), que inicialmente fueron creados mediante el Decreto 1743/1994. Estos PRAES Son Herramientas que permiten desde el aula de clase y la institución educativa desarrollar proyectos que puedan servir encontrar la solución de la problemática ambiental. De aquí podemos partir para introducir el modelo sistémico para el manejo de los residuos sólidos y así difundir el mensaje de que el medio ambiente es un sistema complejo.

1.2 Reciclaje

Según la normatividad colombiana vigente el reciclaje es el proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje favorece el desarrollo sostenible ya que disminuye la contaminación del medio ambiente y ayuda a prevenir el deterioro ambiental, evitando que los recursos naturales se utilicen como materia prima, incluso también alarga la vida útil de los rellenos sanitarios [11].

2. METODOLOGÍA

Debido a la cantidad de factores que intervienen en este problema se hace necesaria la implementación de una metodología que permita trabajar dicha complejidad. Una de las alternativas metodológicas que mejor se adapta a este tipo de problemas sistémicos es la que nos ofrece la Dinámica de Sistemas. Esta metodología se han logrado buenos resultados para el manejo de los residuos sólidos ya sean municipales o para predicción de generación o modelos de regionalización en diferentes países [6-8]. Se logro establecer diagramas causales, de niveles y flujos y sus respectivas simulaciones con el software *Stella 9.0.2*.

2.1 El Modelo

A continuación se presenta el modelo que se construyo con la metodología de dinámica de sistemas para entender y analizar el funcionamiento del manejo de los residuos sólidos y el cambio de los factores que influyen en él.

En el diagrama de niveles y flujos propuesto, se estableció que fueran tres las variables de nivel estas son, el presupuesto de la institución, los residuos totales y los residuos reciclados.

Para un mayor entendimiento, se dividió este diagrama en 2 módulos, el primer módulo (ver figura 1) es la estructura que hace referencia al presupuesto de la institución, y el segundo módulo (ver figura 2). Es el que muestra la estructura de los residuos totales y los residuos reciclados.

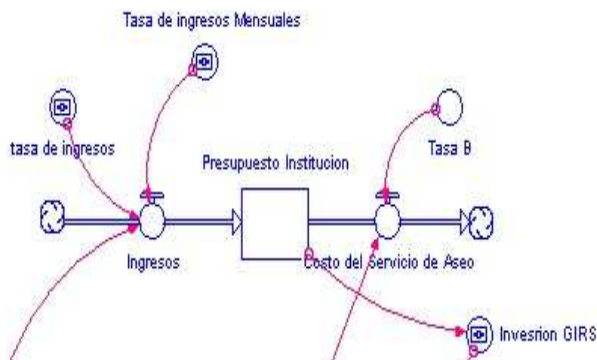


Figura 1. Diagrama de Niveles y flujos del Presupuesto de la institución

En esta figura vemos que el presupuesto de la institución está dado por unos ingresos, que son el flujo de entrada, estos ingresos están determinados por la tasa de ingresos de la institución en un periodo mensual y la tasa de ingresos por reciclaje. Ahora dependiendo de cuál sea el valor del costo de servicio así será el flujo de salida del presupuesto de la institución. Y de acuerdo a este presupuesto, entonces será el valor de la inversión para la gestión integral de residuos sólidos (GIRS).

En la figura 3 se observa que los residuos sólidos generados, dependen del número de la población estudiantil, y las tasas de generación, que están estandarizadas por factores de producción por la comisión de regulación de agua y saneamiento básico [10]. A su vez el reciclaje depende de la adecuada separación de residuos que se realice. Este reciclaje genera una acumulación de residuos reciclados, de tal manera que cuando haya una gran cantidad de dichos residuos, se pueda llevar a cabo la venta.

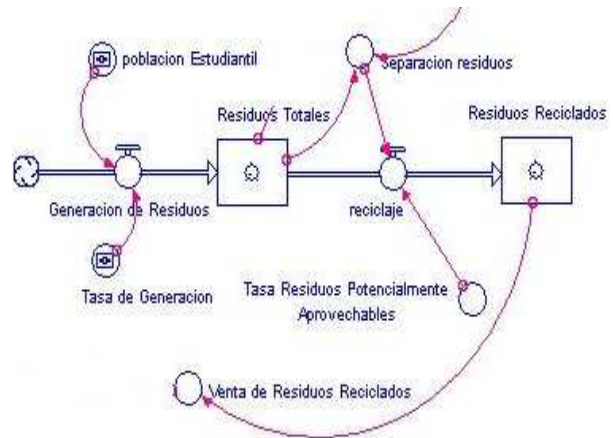


Figura 2. Diagrama de Niveles y flujos de los residuos sólidos

A continuación diagrama de niveles y flujos del modelo general para el manejo de residuos sólidos en instituciones educativas. (Ver figura 3).

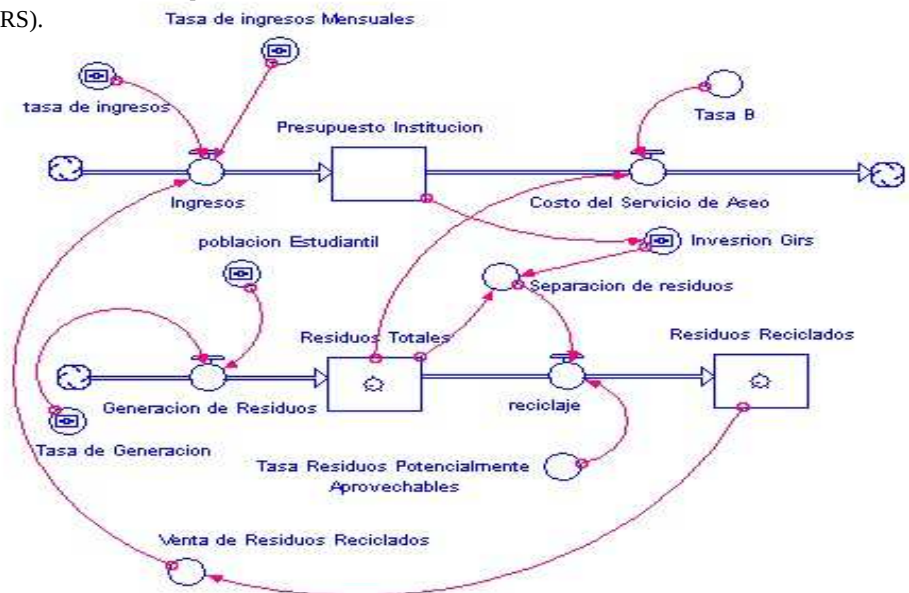


Figura 3. Diagrama de Niveles y Flujos del Modelo General

En el diagrama de niveles y flujos general, se ve que la venta de residuos sólidos reciclados, genera unos ingresos al presupuesto de la institución, de igual manera, se percibe que el costo del servicio de aseo, está en función de la cantidad de residuos totales que se generen en la institución, es decir cuando incrementa la cantidad de residuos sólidos totales, hace que se incremente el flujo de salida del presupuesto de la institución, ósea se incrementa el costo del servicio.

3. SIMULACIONES. Y ANALISIS DE RESULTADOS

Después de realizar las corridas del modelo y observar el comportamiento de las variables según los parámetros establecidos, podemos analizar en la simulación 1 (ver figura 5), que corresponde a la simulación en la cual no se tiene en cuenta el reciclaje es decir, en una institución donde no se realiza este proceso, podemos concluir que el presupuesto de la institución se mantiene hasta el punto, en que la generación de residuos se incrementa de manera excesiva, trayendo como consecuencia de que al pasar 12 meses el presupuesto disminuyo considerablemente

Para la simulación 2,(ver figura 6) tuvimos en cuenta, la tasa de inversión para la gestión de residuos sólidos y el proceso de reciclaje, el cual se vio reflejado en el aumento del presupuesto de la institución, y en el comportamiento de la cantidad de residuos sólidos totales, pues vemos que después de unos meses, tiende a estabilizarse en un punto lo cual hace que el costo del servicio de aseo sea constante, por ende hay un incremento del presupuesto de la institución.

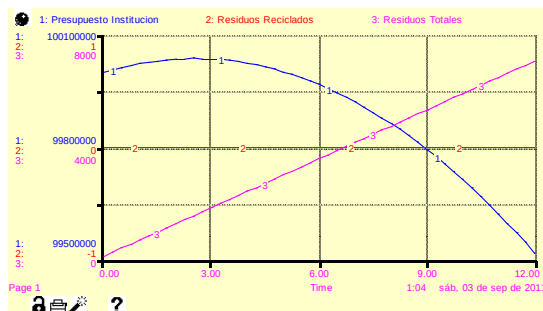


Figura 5. Simulación 1

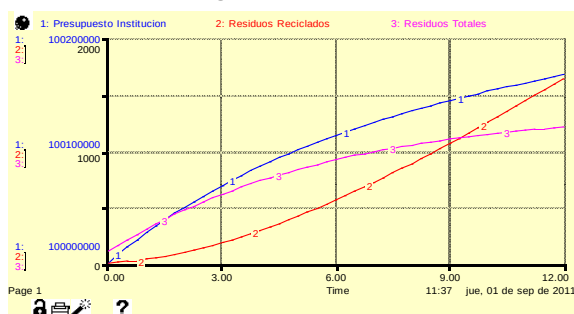


Figura 6. Simulación 2

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El modelo nos permitió observar el comportamiento de las variables, residuos totales, residuos reciclados y su relación con el presupuesto de la institución. Se pudo establecer que para implementar un plan de gestión integral de residuos sólidos, que sea eficiente, se necesita que exista una tasa de inversión adecuada al número de la población de la institución.

Este primer modelo planteado para el manejo de los residuos sólidos en instituciones educativas, es muy general, pero con mucho potencial, por ende se ve la necesidad de tener en cuenta mas atributos para así complejizar mas el sistema, de tal manera que se pueda considerar el tipo de residuo generado, el ingreso por cada tipo de residuo y costos específicos aplicados a un estudio de caso.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Patiño, S. Formulación De Un Sistema Integral De Residuos Sólidos Orgánicos, Para Las Distintas Plazas De Mercado En La Ciudad De Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. 2009
- [2] Diaz, L.F. Savage, G.M. Eggerth, L.L. and Golueke, C.G. (1996). Solid Waste Management in Economically Developing Countries. ISWA, Denmark
- [3] Ramírez, J. (2005) Régimen Legal del Servicio Público Domiciliario de Aseo Revista de Derecho, Universidad Del Norte, 23: 213-239
- [4] Castellón, O. Puerta, S. Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista, Revista Lasallista de Investigación Vol. 1 N° 1 pg. 15-21
- [5] Colombia, Diario Oficial No. 44.893 de Agosto 7 de 2002, Decreto 1713 de 2002
- [6] Botero, E. C. (2005) Evolución del servicio de aseo domiciliario durante la última década. CEDE –Universidad de Los Andes
- [6] Sliwa, K.R. (1994). Solid Waste Management in Puebla, a Systems Dynamic approach. System Dynamics conference
- [7] Vásquez, O. (2005). Modelo de simulación de gestión de residuos sólidos domiciliarios en Chile. Revista de Dinámica de Sistemas Volumen 1 número 1.
- [8] Adamides, ED. Mitropoulos, P. and Giannikos, I. (2009) Journal of the Operational Research Society 60, 758 --770 A multi-methodological approach to the development of a regional solid waste management system

- [9] SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Informe anual del Servicio Público de Aseo, p. 13. Información reportada por los prestadores del servicio de aseo al Sistema Único de Información, SUI. 2008
- [10] CRA, Metodología de costos y tarifas, para el servicio público de aseo. Comisión de regulación de de agua potable y saneamiento básico. 2008
- [11] Aristizabal, C., Sáchica, M Universidad Pontifica Javeriana. El aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios no tóxicos en Bogotá. Bogotá. D.C. 2001
- [12] Redondo, J.M., Ibarra, D.W. Modelo de Regionalización para el Manejo Sostenible de los Residuos Sólidos Municipales. 8° Congreso Latinoamericano y 8° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, 2010
- [13] Medina, C.I. Manejo de Residuos Sólidos, Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada. Pg. 135-144 (1999)
- [14] Aracil Javier, Gordillo Francisco (1997). Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial S.A., Madrid
- [15] SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2008), Informe anual del Servicio Público de Aseo, p. 13. Información reportada por los prestadores del servicio de aseo al Sistema Único de Información, SUI

6. CURRÍCULUM

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

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

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo de manejo de inventarios para una empresa de alquiler de equipos de construcción

Inventory management model for a company of construction equipment rental

MSC. ISAAC HUERTAS FORERO

Isaac.huertas@hotmail.com

ING. MARIO RAMON VERASTEGUI R.

marioramona@gmail.com

RESUMEN

Los inventarios son un factor preponderante en el desarrollo de una empresa, ya que estos influyen en la productividad y rentabilidad de la institución. Por este motivo el manejo de los mismos ha suscitado múltiples estudios de los cuales se han derivado métodos, o modelos adecuados para cada necesidad. Hoy en día se pueden encontrar diversos modelos que ayudan a manejar el inventario y poder optimizar la producción. Sin embargo estos modelos están elaborados para productos terminados, materia prima, productos a comercializar, pero no hay un método claro que aplique al manejo de productos intangibles, es decir, productos de servicio.

Por lo anterior, este trabajo plantea un modelo adecuado para el manejo de estos tipos de inventarios, y específicamente en el alquiler de equipos que prestan servicio. El modelo de inventario que se desarrolla en el presente estudio, es un modelo que tiene en cuenta: la vida útil de un equipo, el mantenimiento rutinario de los equipos y el mantenimiento correctivo a causa de fallos inesperados, la programación de los servicios y su disponibilidad, como factores importantes para la prestación de un excelente servicio. El modelo infiere que todos los equipos deben tener un desgaste similar, por lo que al escoger un equipo para el alquiler, se debe escoger el equipo que menores horas de trabajo presente, para buscar la mejor prestación del servicio.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Palabras claves

Inventario, Manejo de inventario, modelo, vida útil, mantenimiento.

ABSTRACT

Inventories are a major factor in the development of an enterprise, as these affect productivity and profitability of the institution. For this reason, the management, of which has led to many studies which have been derived methods or models suitable for every need. Today you can find many models to help manage inventory and to optimize production. However, these models are made for finished products, raw materials, products to market, but there is no clear method to apply to the management of intangible products.

Therefore, this paper proposes a model for handling these types of inventories, specifically in providing equipment rental service. The inventory model is developed in this study is a model that takes into account: the life of equipment, routine maintenance of equipment and corrective maintenance due to unexpected failures, programming and services availability, as important factors in providing excellent service. The model implies that all teams must have a similar wear, so choosing a team for the rent; you should pick the team under the present working hours, to find the best service.

Key Words

Inventory, Inventory Management, Model, lifetime maintenance.

1. INTRODUCCIÓN

Los inventarios son un factor preponderante dentro de una industria y el que determina en gran parte la eficiencia y rentabilidad de un negocio, por esto es un tema de alta relevancia. Existen diversos modelos sobre manejo de inventarios de

productos tangibles, entre estos modelos encontramos el ERP, EOQ, POQ, entre otros que brindan suficientes herramientas para el manejo del inventario. Sin embargo estos modelos no son tan apropiados para productos intangibles, como lo son el alquiler de equipos, el cual estos prestan un servicio. En estos tipos de servicios tienen variables que no se contemplan en los otros modelos de productos tangibles como los son la vida útil del equipo, y el mantenimiento apropiado que se les da para prestar un equipo, así como la acumulación e horas de trabajo.

Con el objeto de poder realizar un manejo apto para estos tipos de inventarios, se lleva a desarrollar un modelo de manejo de inventarios de prestación de servicio, el cual se desarrolla teniendo en cuenta las variables mencionadas anteriormente y el uso eficiente de los recursos materiales, para buscar una rentabilidad y un nivel de servicio al cliente, óptimo y adecuado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición

Según Chase, Aquilano y Jacobs, autores de Administración de producción y operaciones el Inventario “son las existencias de cualquier artículo o recurso utilizado en una organización. Un sistema de inventario es la serie de políticas y controles que monitorean los niveles de inventario y determinan los niveles que se deben mantener, el momento en que las existencias se deben reponer y el tamaño que deben tener los pedidos.” (Chase & Jacobs, 2006).

2.2 Costos de Inventario

Todo inventario tiene un costo que influye en la rentabilidad de la empresa. Estos costos se generan por:

- Costos por mantener el inventario
- Costos de instalaciones de almacenaje
- Pólizas de seguro.
- Servicio de limpieza y mantenimiento.
- Depreciación.
- Costo de oportunidad: costo de los recursos invertidos en el inventario, pues estos no están disponibles para ser usado en otras actividades de la compañía. De hecho puede ser pedido prestado a los bancos.

2.3 Modelos de Inventarios Productos tangibles.

Existen varios modelos de inventario de productos tangibles que se han desarrollado para el manejo de estos y optimización de los recursos. Estos modelos se pueden clasificar según la forma de pedir como se muestra en la figura 1.1. El modelo de periodo de tiempo fijo tiene en cuenta un inventario más grande para protegerse de los posibles faltantes en el periodo de revisión. El de cantidad fija es de revisión constante y por esa razón se va ajustando a la demanda pronosticada.

El modelo de cantidad fija favorece los materiales de clasificación A (los más costosos) en la medida en que el inventario promedio es menor. Adicionalmente realiza mayor monitoreo a este tipo de productos, porque hay un monitoreo constante.

Uno de los modelos que existen es el EOQ, que en español se traduce en Cantidad económica de pedido, el cual se utiliza cuando la demanda tiende a ser constante. El Heurístico Silver – Meal se utiliza para determinar un plan de producción o abastecimiento casi óptimo. Se basa en minimizar costos promedio por periodo. Sin embargo no existe un modelo similar para manejar inventarios intangibles, como lo es el alquiler de equipos.

2.4 Clasificación ABC

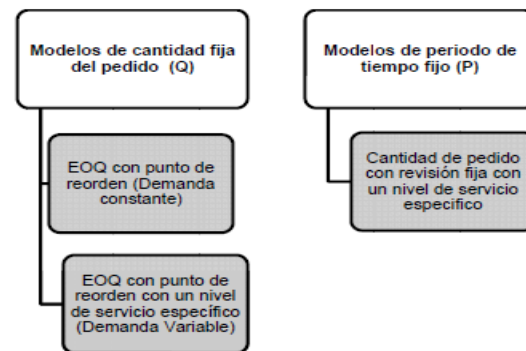


Figura 1. Clasificación de los modelos de inventarios

Para este trabajo es esencial poder determinar el tipo de maquinaria que se tiene y buscar la priorización de manejo del inventario según su importancia dentro de la empresa, por esto es necesario recurrir a la clasificación ABC el cual consiste en clasificar los equipos en costo unitario, costo total y/o costo de inversión y clasificarlos según la nomenclatura que a continuación se muestra.

ABC significa lo siguiente:

- A Son productos y/o equipos muy importantes que brindan la mayor utilidad del negocio
- B Son productos y/o equipos moderadamente importantes
- C Son productos de menor importancia y menos beneficio.

2.5 Mantenimiento y Confiabilidad

La confiabilidad de los equipos es determinante dentro de una empresa, y dentro de esto es el mantenimiento adecuado de los equipos. Según Luis Felipe Sexto, “...las estrategias y tecnologías de mantenimiento ofrecen recursos que contribuyen a lograr determinados niveles de confiabilidad de los activos, pero no pueden hacer realidad la decisión y el compromiso de ser consecuentes con ellas en la actuación cotidiana.” Existen cuatro vertientes que determinan la confiabilidad de los activos la cual se muestra en la figura 2.

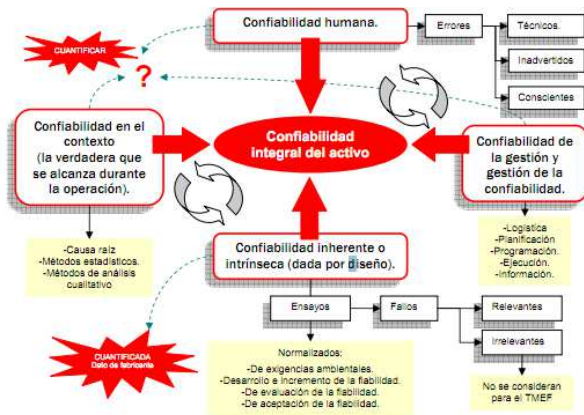


Figura 2. Vertientes de confiabilidad de los activos

La confiabilidad se puede medir mediante la siguiente ecuación.

$$R(t) = e^{-t/TMEF}$$

Donde:

- $R(t)$ es la probabilidad de funcionamiento libre de fallos
- E es el numero Euler (2,718)
- $TMEF$ es el tiempo medio entre fallos.
- T periodo especificado de funcionamiento libre de fallos.

Esta es una herramienta muy útil para poder establecer un mantenimiento adecuado.

3. METODOLOGÍA

La metodología que se usó para cumplir con los objetivos de elaborar el modelo de manejo de inventarios de prestación de servicios consta de primero el diagnóstico preliminar de la y se prosiguió con la elaboración del inventario de los equipos.

El segundo paso es la realización el estudio del manejo actual de los inventarios durante los últimos años para conocer los movimientos de los mismos y poder valorar las estrategias a seguir.

El tercer paso es la estructuración de un plan de mantenimiento completo y de acuerdo a las necesidades de los equipos.

El cuarto paso consistió, según los resultados de los anteriores estudios, en proponer el modelo más adecuado para la empresa en el manejo del inventario.

Finalmente el último paso que consiste en el desarrollo de un software para la aplicación del modelo y con base en la aplicación del mismo se simuló en el programa Stella para valorar el nivel de servicio que teóricamente se suministra con el modelo.

Las variables se clasificaron en variables dependientes, independientes. Es importante resaltar las variables para este modelo las cuales se establecerán a continuación.

Las independientes son

Y_{ij} Son las horas de trabajo del grupo de equipo i de la máquina j para entrar en mantenimiento preventivo.

V_{ij} Son las horas de trabajo del grupo de equipos de la máquina j en la que el equipo cumple su ciclo de vida.

Las dependientes

X_{ijk} Son las horas trabajadas del grupo de equipos i de la máquina j y la iteración k .

C_t Es el costo total en que se incurra al prestar el servicio.

C_v Es el costo variable que se incurre en el negocio, estos costos varían según el equipo entre otros.

C_p Es el costo en que se incurre al hacer un pedido incluye la papelería que se realiza el trabajo previo a la prestación del servicio.

H_{tp} Son las horas de trabajo que prestará el equipo que se establezca en la orden de pedido.

4. VIDA ÚTIL

La vida útil de los equipo es muy importante dentro del modelo aquí planteado y en toda la industria que tengan que ver con equipos. La búsqueda de optimizar la vida útil de cada equipo es primordial dentro de una empresa para lograr una mayor rentabilidad. Por esto es importante ya se mediante información dada por fabricante o determinarla mediante cálculo la obtención de este dato. Existen varios métodos, como la distribución Weibull y el reemplazo de equipos mediante el costo anual promedio equivalente. La aplicación de algún método depende únicamente de la empresa, los datos que se tienen a disposición y del analista. Para el modelo que se plantea se usa el costo anual promedio equivalente el cual nos brinda un dato aproximado del ciclo de vida de los equipos. En la tabla 1 se muestra la vida útil calculada de los equipos los cuales se escogieron para determinar el modelo general.

Tabla 2. Vida útil de los equipo.

	AÑOS	HORAS VIDA UTIL
BENETINES	9	19008
RANAS	3	5760
CORTADORA DE LADRILLOS	12	23040
CORTADORA DE PISO	4	7680
MEZCLADORA	5	9600
PLANTA ELECTRICA	9	17280
COMPRESORES	4	7680

5. MANTENIMIENTO

El mantenimiento es otro factor importante dentro del modelo planteado, ya que este factor influye directamente en la operación de un equipo y lleva como anteriormente se nombraba a la optimización de la vida útil de los equipos. Por ende es claro y preciso tener un manual de mantenimiento para los equipos. Para determinar más que la parte operativa de cómo se realiza el mantenimiento de los equipos, es determinar las horas de trabajo acumuladas que debe tener un equipo para entrar a mantenimiento, y esto se determina mediante la confiabilidad de los equipos. En la tabla 1.2 se muestra la confiabilidad de los equipos y las horas en las cuales se debe realizar mantenimiento preventivo de cada uno de estos equipos.

Tabla 3. Confiabilidad y horas de Mantenimiento.

EQUIPO	CONFA - BILIDAD	HORAS MANTENIMI ENTO
BENETINES	94,18%	1100
RANAS	86,50%	770
CORTADORA DE LADRILLOS	99,29%	400
CORTADORA DE PISO	99,01%	300
MEZCLADORA	88,59%	800
PLANTA ELECTRICA	89,58%	1800
COMPRESORES	96,72%	500

Ya establecidas estas variables importantes para el modelo es procedente plantearlo.

6. MODELO DE INVENTARIOS

Este modelo es planteado de manera que facilite el manejo del inventario y de manera óptima de tal manera que haya un desgaste equilibrado de los equipos.

El desarrollo del modelo es el siguiente:

a. Restricciones

Es importante que se cumplan restricciones como la vida útil y el coeficiente de mantenimiento.

RESTRICCIONES

$$\frac{X_{ijk}}{V_{ij}} < 1$$

$$C = \frac{X_{ijk}}{Y_{ij}}$$

$$C = \frac{X_{ijk} + H_t}{Y_{ij}}$$

Figura 3. Restricciones

En la primera restricción es el coeficiente de vida útil, es decir que el total de horas acumuladas por cada equipo no debe superar las horas de vida útil.

La segunda restricción es el coeficiente de mantenimiento que debe ser diferente a un entero. Es decir que las horas acumuladas de cada equipo no deben encontrarse igual o múltiplos de las horas de mantenimiento para su disponibilidad.

La tercera restricción también está relacionada con las horas de mantenimiento, pero se le suma las horas que se pretende prestar el servicio, y este igual que el anterior, no debe ser entero.

b. Disponibilidad

La siguiente es si los equipos no se encuentran prestados, esto se hace mediante la revisión de las órdenes de servicio vigentes.

c. Comparación

Cumpliendo con las restricciones anteriores se determina qué equipo presta el servicio según la siguiente regla.

Donde $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

d. Acumulación

Se procede a acumular las horas prestadas del equipo prestado.

Esto con el fin de buscar el equilibrio, acumular las horas para llevar un registro.

e. Costos

Los costos generados de esta actividad con lo que se respecta al modelo aquí planteado, son:

$$C_t = C_f + C_v$$

$$C_f = C_m + C_a + C_p$$

$$C_v = C_{pp} + C_{varios}$$

Aquí estén representados los costos fijos y los variables y como se componen cada uno de ellos.

En los costos fijos se encuentran el costo de mantenimiento, de almacenar y de pedido.

En los costos variables están los costos de puesta a punto y costos varios según sea el equipo.

7. VALIDACIÓN

El modelo que anteriormente se plantea tiene un ámbito positivo dentro del funcionamiento del proceso de alquileres y aumenta el nivel de servicio de cualquier empresa y una rentabilidad mejor. Con el objetivo de comprobar el modelo se usó la herramienta de Stella para realizar una simulación del modelo y comprobar teóricamente que es válido y eficiente.

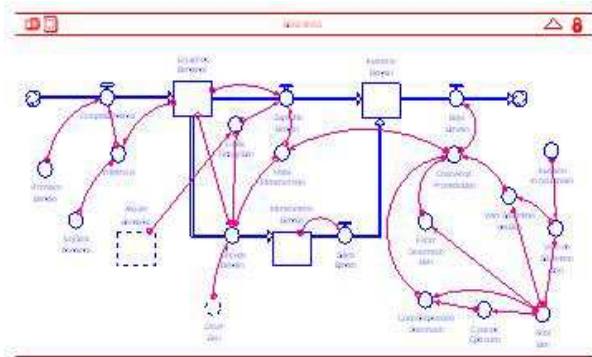


Figura 4. Nivel básico

Esta Ilustración 4 se muestra el nivel fundamental de equipos que se van requiriendo a medida que el mercado vaya pidiendo. Esto se realizó para cuatro grupos de equipos para simular. También se debe obtener la disponibilidad de los equipos según las restricciones planteadas en el modelo el cual en la ilustración 5, se muestra el flujo de disponibilidad y mantenimiento de los equipos.

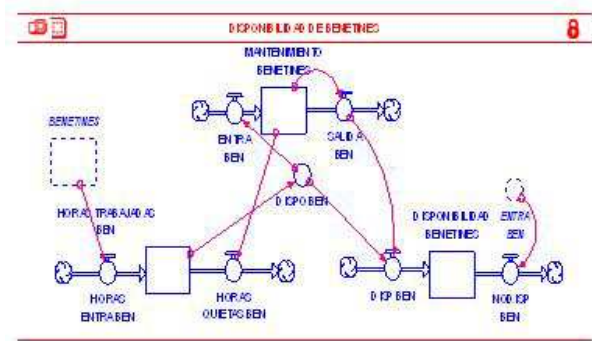


Figura 5. Disponibilidad

Ya un poco más relevante es como es el comportamiento de los alquileres dentro del modelo y como se están optimizando, por lo que es necesaria la realización de un flujo único donde se muestre el resultado de la interacción entre el mercado y los inventarios (Ver figura 6).

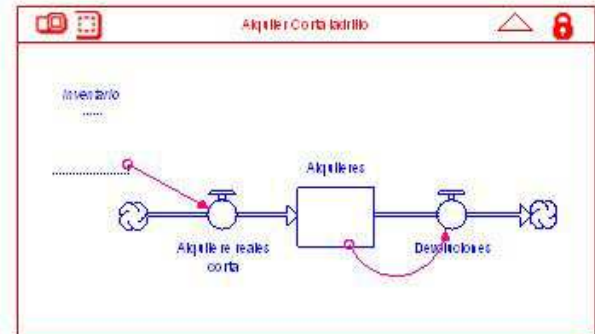


Figura 6. Alquileres

Un flujo que nos interesa y parte importante dentro del modelo y su objetivo general es el factor financiero que se muestra en la figura 7.

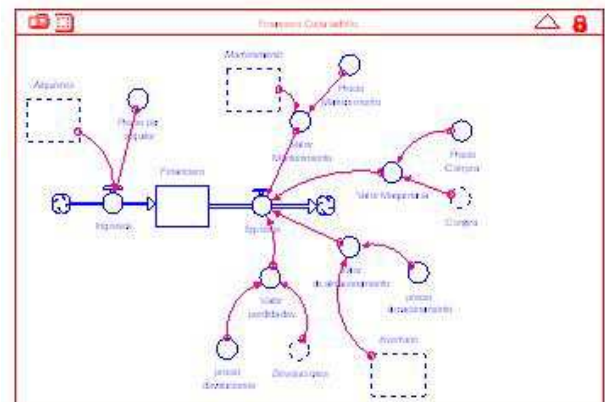


Figura 7. Financiero

Esta figura nos muestra la relación del mercado y del modelo con el dinero y la rentabilidad que genera una empresa con la aplicación de este modelo de inventarios. Aquí comprobamos que el modelo es rentable y muy adecuado para el funcionamiento del mismo.

Y finalmente el nivel de servicio deseado se debe conocer, para poder determinar la calidad y respaldar la buena rentabilidad del negocio.

8. RESULTADOS

Los resultados encontrados son muy alentadores ya que nos muestra un panorama muy favorable dentro del marco financiero y de nivel de servicio.

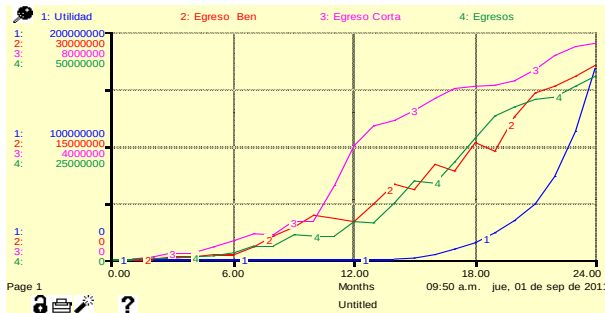


Figura 8. Rentabilidad

En esta grafica vemos un sorprendente funcionamiento rentable de los equipos. Al principio del proceso la rentabilidad va creciendo moderadamente mientras el modelo comienza a consolidarse y después de alrededor de 15 meses esta se dispara de manera pronunciada. Siendo esto una simulación y que aquí se está hablando de rentabilidad por parte productiva y no se incluyen el proceso administrativo, se ve un comportamiento adecuado.

Con respecto al nivel de servicio también se puede ilustrar lo siguiente.

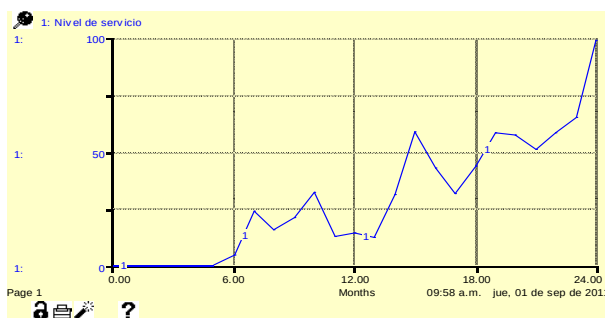


Figura 9. Nivel de Servicio

En esta grafica podemos ver como el nivel de servicio (línea color mostaza) va incrementándose a medida que el tiempo pasa. Esto nos lleva a un buen acercamiento de un óptimo servicio que este modelo de inventario genera y establece.

9. CONCLUSIONES

El manejo y control de inventario es un factor determinante para cualquier tipo de actividad y más aún para las empresas de carácter industrial y manufacturero.

Cada día se exige un nivel de atención, a cualquier suministrador de bienes y servicios, de una excelente calidad, donde los clientes exigen más, y la única forma de garantizar su fidelidad, está en el servicio que se le preste a los clientes, y es uno de los factores críticos de las empresas exitosas. Para lo anterior se hace importante que el modelo lleve como resultado la calidad en el servicio, por tal motivo el modelo planteado recoge este factor y promueve un excelente nivel de servicio que en promedio está en 82,84%.

El plan de mantenimiento es una herramienta crucial para garantizar el buen funcionamiento de los equipos, evitándose pérdidas de tiempo, eficiencia en el funcionamiento del equipo e incluso incidentes de seguridad, que pueden poner en peligro a los operarios e incluso poner en riesgo las obras en las cuales se están utilizando los equipos. En los equipos usados para este modelo, el promedio de mantenimiento de los equipos se estima en 4 meses o 700 horas de trabajo.

El nivel de confiabilidad es uno de los factores más importantes dentro del programa de mantenimiento de los equipos dentro de las empresas y es muy relevante para determinar cualitativamente el nivel de servicio. Se estima que la confiabilidad de los equipos debe estar alrededor de 93,4% lo cual genera una gran confianza para prestación de servicio.

Los ciclos de vida de los equipos se cumplen según lo establecido por los fabricantes, en términos generales. Sin embargo, se pudo establecer mediante el método de costo anual promedio equivalente, establecer una aproximación de las horas de vida útil de los equipos, además de la normatividad en cuanto se refiere a la utilización de los equipos, el estado en que se encuentran actualmente, y los requerimientos para que funcionen adecuadamente durante otro ciclo de vida normalizado de los mismos. Los equipos para este modelo tienen una vida útil entre 3 a 12 años según el tipo de equipo como por ejemplo la vida útil del benetón es de 9 años, entre otros ejemplos.

10. REFERENCIAS

- [1] BALLOUE, Ronald. Logística Administración de la Cadena de Suministros, 5 Edición. México 2004. 788p.
- [2] GUERREO SALAS, Humberto. Inventario Manejo y Control, 1^{era} edición. Marzo 2009, 185p.
- [3] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Sexta Actualización. Bogotá D.C.: ICONTEC 2008 36p. NTC 1486.
- [4] AMENDOLA, Luis Ph.D. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. Universidad Politécnica Valencia España. www.mantenimientoplanificado.com. 3p.
- [5] SEXTO, Luis Felipe. Confiabilidad integral del activo. Centro de Estudio de innovación y Mantenimiento (CEIM/CUJAE).Febrero 2005. 10p.
- [6] CHASE. R. B, Jacobs. F.R y Aquilano, N. J. Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva. México, D.F. McGraw-Hill.

11. MEMORIAS DEL CONGRESO

Verástegui Mario, Modelo de Dinámica de sistemas para las hierbas orgánicas – La Manzanilla, Medellín 2010, pg. 409 – 416.

12. TESIS

Verástegui Ramírez Mario, Modelo de manejo de inventarios para una empresa de alquiler de equipos de construcción.

13. AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la posibilidad de realizar este proyecto, a mi familia por todo el apoyo y a Isaac Huertas por su colaboración, su ayuda y apoyo en la elaboración de este proyecto.

14. CURRICULUM

Ing. Mario Ramón Verástegui. Ingeniero Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada. Formulación de proyectos. Sena. NTC 14001 Sena. Cinemark Colombia Atlantis.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Diseño del Sistema de Protección Social Integral de las Instituciones de Educación Superior en Colombia “SPISIES”

Design of Integrated Social Protection System of Institutions of Higher Education in Colombia "SPISIES"

Wilmar Sierra
Toncel

Universidad de La
Guajira - Riohacha
Docente Facultad
Ciencias Económicas
y Admitivas
Carrera 7A 27A-03
Riohacha
Tel: (095)7274922
sierrawill@gmail.com

Ángela Nair Ortiz
Rojas

Universidad de La
Guajira - Riohacha
Docente Facultad
Ciencias Económicas
y Admitivas
Carrera 7A 27A-03
Riohacha
Tel: (095)7274922
angelanahyr@gmail.com

Olivia Isabel
Rangel Luquez

Universidad de La
Guajira - Riohacha
Docente Facultad
Ciencias Económicas
y Admitivas
Calle 27B 7B-35
Riohacha
Tel: (095)7275897
Olirangel65@gmail.com

Marelis Mercedes
Alvarado Mejía

Universidad de La
Guajira - Riohacha
Docente Facultad
Ciencias Económicas
y Admitivas
Carrera 12A 14-36
Riohacha
Tel: (095)7270865
Marelisalvarado@yahoo.es

RESUMEN

El sistema de protección social en Colombia, en algunos de sus componentes presenta dificultades de tipo operacional y financiero en especial el de seguridad en salud y el pensional, debido a los altos costos operacionales, los dilemas éticos en la gestión de las entidades del sector, la complejidad y el dimensionado tamaño, generando de alguna forma una situación de crisis e incertidumbre sobre el futuro del sistema integral, debiendo buscarse alternativas de solución tanto en la gestión como el control del mismo.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

La teoría y praxis de la dinámica de sistema, sirve para explorar el comportamiento no lineal de un sistema, así como identificar las variables o factores que causan dichos fenómenos, detectando las relaciones causales directas e indirectas, endógenas y exógenas del sistema.

El presente artículo tiene como propósito, compartir las experiencias y conocimientos aportados por los avances investigativo del presente trabajo, el cual busca plantear en su fase inicial, el diagrama causal del sistema de protección social integral de la Educación Superior en Colombia, el cual pretende utilizar la dinámica de sistemas, para simular su comportamiento, en cuanto al aprovechamiento de los recursos económicos, humanos y los conocimientos generados en las instituciones, a fin de operar el sistema, así como cuantificar los beneficios que le aportaría al desarrollo de las instituciones y a los estamentos universitarios como beneficiarios directos.

Palabras claves

Sistema, protección social, dinámica de sistema, educación superior, simulación.

ABSTRACT

The social protection system in Colombia, some of its components presents difficulties of an operational and financial security especially in health and pensions, due to high operational costs, the ethical dilemmas in the management of sector entities, sizing the complexity and size, in any way create a situation of crisis and uncertainty about the future of the whole system, alternative solutions must be sought both in management and control over it. The theory and practice of system dynamics, is used to explore the nonlinear behavior of a system, and to identify variables or factors that cause these phenomena, detecting the direct and indirect causal relationships, endogenous and exogenous system.

This article aims to share experiences and knowledge provided by research advances in this paper, which seeks to raise in its initial phase, the causal diagram of comprehensive social protection system of higher education in Colombia, which aims to use system dynamics to simulate their behavior regarding the use of financial, human and knowledge generated in institutions, in order to operate the systems and quantify the benefits they bring to the development of institutions and university bodies as direct beneficiaries

Keywords

System, social protection, system dynamics, higher education, simulation.

1. INTRODUCCIÓN

La educación es considerada la base para el desarrollo social y cultural sostenible, el crecimiento y la estabilidad democrática, por ello la búsqueda del equilibrio, la oportunidad y la equidad se constituyen en variables imprescindibles en todos los ámbitos. De esta manera, la investigación, el desarrollo científico y tecnológico impacta el sistema de protección social constituyéndose en foco de atención a ser desarrollados a través de estrategias que permitan la optimización del mismo.

No obstante [1], refiere que el abandono infantil, la mendicidad, las personas con malformaciones congénitas, trastornos mentales degenerativas, en general con cualquier tipo de vulnerabilidad, continuaron bajo la tutela de la acción asistencial de la iglesia en cuyo ámbito de acción incursionaron las organizaciones no gubernamentales, especialmente aquellas que se configuraron como fundaciones. Ya en 1968, el estado colombiano asume entre sus responsabilidades, la atención y protección de la niñez, creando el instituto Colombiano de bienestar Familiar ICBF, para desarrollar programas sociales dirigidos a las familias, en especial la infancia, se imponen cargas parafiscales a las nominas y dos de ellas se destinan a financiar el gasto social. El ICBF y las cajas de compensación.

En el mismo sentido, en la década de los 90, Colombia transformo completamente su institucionalidad producto del proceso de descentralización, el cual modificó las relaciones de poder entre los distintos niveles de gobierno en los campos económicos, fiscal político y administrativo, este proceso se profundizó a partir de la expedición de la constitución de 1991 [2], que entendiendo el país como una república unitaria pero descentralizada, en donde además se afirmaba que el gato social debería ser creciente y los recursos debían descentralizarse.

En este contexto se produjo la reforma a la seguridad social mediante la expedición de la ley 100 de 1993, ella amplió el

viejo sistema de salud convirtiéndolo en un sistema de seguridad social integral con capacidad para cobijar trabajadores formales, a los independientes e informales y sus respectivos grupos familiares, como una estrategia para avanzar hacia la universalización de la seguridad social.

Según la Ley 100 de 1993¹¹ [3], el sistema de seguridad social, es el conjunto de instituciones, normas y procedimientos de que dispone la persona y la comunidad para gozar de una mejor calidad de vida, mediante el cumplimiento progresivo de los planes y programas que el Estado y la sociedad desarrollan para proporcionar la cobertura integral de las contingencias, especialmente las que menoscaban la salud y la capacidad económica, de los habitantes del territorio nacional, con el fin de lograr el bienestar individual y la integración de la comunidad y está conformado por los regímenes establecidos para pensiones, salud, riesgos profesionales y los servicios sociales complementarios.

Al respecto [4], plantea que el Sistema de Protección Social adquirió la dimensión de supra sistema definiendo cinco pilares constitutivos entre ellos: El sistema de seguridad social integral. Sistema de promoción social, sistema de formación de capital humano. Manejo de riesgo y acceso a activos, que comprometen dependencias de cuando menos seis ministerio (Educación, Medio ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, comercio Industria y Turismo, Transporte, Obras Publicas y defensa, las cuales según sus responsabilidades y competencias articulan sus acciones, programas y proyectos a uno o varios de sus cinco pilares centrales.

En este sentido, con la emisión de esta ley y sus decretos reglamentarios, se consolida el sistema de seguridad social integral Colombiano, bajo los fundamentos y leyes del sistema económico de mercado, donde el libre juego de oferta y demanda juega un papel preponderante, por otro lado, el estado se convierte no en el actor del sector productivo de las funciones sociales que le corresponden constitucionalmente, sino, un estado subsidiario, complementario e igualmente, regulador de los procesos de la dinámica económica, producto de la participación activa del capital privado.

Bajo esta perspectiva, el sector salud, el ahorro programado de los trabajadores, la seguridad alimentaria de la infancia y adolescencia, entre otros, se han visto de alguna manera beneficiados, revolucionando la prestación de los servicios públicos de salud, manejo de cesantías y pensiones, subsidio familiar, riesgos profesionales, emergiendo una serie de entidades operadoras del sistema de seguridad social tales como: Instituciones prestadoras de servicios de salud IPS, Empresas prestadoras de salud EPS, administradoras de Riesgos profesionales ARP, Fondos privados de Cesantías y pensiones entre otros.

En virtud de lo anterior, todas las empresas públicas y privadas, así como los trabajadores, están obligados a someterse a las directrices del gobierno, en cuanto a la realización de los aportes patronales y la gestión de los mismos por parte de las empresas administradoras de los recursos, no obstante, la naturaleza y el significado social de los mismos; el sistema de seguridad social

¹¹ Ley por medio de la cual se crea el Sistema de Seguridad Social Integral y se dictan otras disposiciones en Colombia.

Colombiano, viene presentando disfuncionalidades que gravitan en el manejo poco transparente de los recursos, la quiebra de algunas de las empresas, sobre todo en el sector salud, afectándose las posibilidades de la prestación de los servicios con calidad, así como la protección que se deriva de tal situación.

Por otro lado, las instituciones que conforman el sistema de Educación superior en Colombia, de acuerdo a los estadígrafos de Sistema Nacional de Información de Educación Superior (SNIES)¹² [5], del Ministerio de Educación Nacional, estas equivalen a doscientos ochenta y dos (282), instituciones entre universidades, instituciones universitarias de carácter técnicas y tecnológicas, las cuales se constituyen en aportantes significativas al sistema de seguridad social, según los presupuestos del año 2011, de alguna de las universidades más representativas, estas le aportan al sistema entre aportes a la seguridad social en salud, aportes parafiscales y cesantías y pensiones una suma equivalente a un billón de pesos aproximadamente, Sin embargo, los usuarios, beneficiarios de los servicios ofertados por estas organizaciones que conforman el sistema, son receptores de las deficiencias e ineficiencias de la prestación del servicio, las cuales se expresan en procedimientos médicos ajustados a la conveniencia económica de las empresas prestadoras, falta de suministro de drogas y/o medicamentos oportunos, exceso de trámites en la transferencia de medicina general a la especializada, bajos rendimientos en los fondos de cesantías y pensiones, obstaculización para el goce del subsidio de pensiones de invalidez, vejez y muerte entre otras.

Otro aspecto importante, a la hora de analizar la problemática de la seguridad social en Colombia, enmarcada en el aporte que las instituciones de educación superior hacen al sistema de seguridad, se trata de la falta de retorno económico del primero al segundo, quedándose el sector privado o público operador de los recursos del sistema, con la plusvalía generada por el mismo, que bien podrían servir de paliativo a las difíciles situaciones financieras que presentan muchas de las instituciones que lo conforman, sobre todo las del sector público.

Por otro lado, dada la naturaleza de las organizaciones de Educación superior, en cuanto a su función formadora de profesionales, de investigación y extensión, se puede asegurar que existe los conocimientos, así como los recursos que soportan la gestión u operatividad de los dos sistemas, como son las ciencias medicas y los programas de gestión y gerencia, en ese orden se pueden aprovechar los más de 10.415 programas de educación superior que ofrece el sistema, lo que permitiría una retroalimentación de los dos sistemas para el aprovechamiento de los recursos en su propio sostenimiento y desarrollo, lo cual evitaría la entropía a que puede verse abocado por las ineficiencias del mismo.

En referencia a lo antes expuesto, el propósito de la presente investigación es el diseño de un sistema de protección social integral de las instituciones de Educación Superior, utilizando la dinámica de sistema para simular su comportamiento, en cuanto a la utilización del conocimiento, los recursos económicos y humanos, generados en dichas instituciones para operar el sistema, así como los beneficios que le aportaría al desarrollo de

las mismas a los estamentos universitarios, beneficiarios directos.

De allí la pregunta de investigación ¿Se podrá diseñar un modelo de Sistema de protección social integral de las instituciones de Educación Superior en Colombia, capaz de auto determinarse, auto regularse y mantenerse, generando recursos para fortalecer la función social de formar y minimizar los déficit de las entidades del sector?

2. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de Sistema de protección social integral de las instituciones de Educación Superior en Colombia.

2.1 Objetivos específicos

Identificar las instituciones que conforma el sistema de seguridad social en Colombia.

Cuantificar el número de trabajadores y funcionarios del sistema de educación Superior que aportan al sistema de Seguridad social en Colombia.

Determinar el monto de los aportes económicos del sistema de Educación superior al de Seguridad Social en Colombia.

Analizar el sistema actual de seguridad social y de educación Superior Colombia.

Simular el funcionamiento del sistema de protección social integral de las instituciones de Educación Superior de Colombia “SPISIES”.

3. JUSTIFICACIÓN

Las sociedades actuales han creado modelos de seguridad social, que buscan promover y mantener el bienestar de sus integrantes; pero muchos de estos en la actualidad están basados en directrices de economías de mercado que buscan la salud individual, rendimientos financieros y bienestar fundamentado en la capacidad de ingreso económico de sus integrantes, hecho que en el país ha generado desequilibrio en el Sistema General de Seguridad Social y la salud colectiva e individual.

En ese orden de ideas, la presente investigación busca generar una propuesta que contenga como eje primordial la integración de sistemas que involucre las necesidades de seguridad social de cada una de las instituciones de educación superior y los aportes del sistema de seguridad social, que contribuya a mejorar la calidad de vida de los docentes, estudiantes, administrativos y trabajadores, así como el desarrollo institucional de los sistemas complejos como son las instituciones de Educación Superior, desde una visión holística que tenga como base el bienestar de estas comunidades.

Desde la perspectiva teórica, la investigación apunta a fortalecer los fundamentos teóricos de la fusión de dos sistemas y el aprovechamientos de los recursos para su retroalimentación y fortalecimiento, que en este caso hace alusión a los conocimientos, los recursos humanos, docentes, estudiantes y trabajadores al servicio de un sistema de seguridad social integral propietario que busca la iniciativa, sin excluir la posibilidad de prestación de servicio a otras usuarios fuera del sistema, con el propósito de extender los beneficios esperados del mejoramiento de la calidad de los servicios y la calidad de vida de los integrantes del mismo.

¹² Sistema Nacional de Información de la Educación Superior.

En cuanto a la justificación legal, la existencia de un sistema de seguridad social, se sustenta en los precepto de la constitución 1991 [2], la cual promulga el derecho a la salud y a la seguridad social, el artículo 48 considera la Seguridad Social, como un servicio público de carácter obligatorio que se prestará bajo la dirección, coordinación y control del Estado, en sujeción a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad, en los términos que establezca la Ley y podrá ser prestada por entidades públicas o privadas, de conformidad con la ley.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación aportará elementos conceptuales y procedimentales para la recolección de la información y la simulación del comportamiento de las variables en la unión del sistema actual de Seguridad Social del país y el propuesto para las entidades de educación superior y la utilización de las plataformas computacionales.

4. METODOLOGIA

Teniendo en cuenta los planteamientos de [6], la Dinámica de Sistemas es una metodología que se usa en el pensamiento sistémico y de manera más general en la Teoría de los sistemas, permite hacer cálculos con series de datos, pues una de sus bondades consiste en endogenizar gran parte de los elementos que la integran, necesitando únicamente un dato semilla. El objeto de la dinámica de sistemas es la modelación continua de sistemas complejos, a través de una serie de ecuaciones diferenciales de orden superior, para capturar los procesos de retroalimentación entre las variables que los conforman, por lo tanto es útil para emular y simular las dinámicas y estructuras sociales basadas en interrelaciones de múltiples variables con el fin de obtener los resultados del comportamiento futuro.

En el mismo sentido [7], plantea que la Dinámica de Sistemas es una metodología que trata de la modelización de la dinámica de sistemas complejos, tales como las galaxias, poblaciones biológicas o los sistemas económicos, en los que las partes demuestran propiedades interactivas entre los objetos, dando como resultado una comunicación gracias a las transacciones energéticas que se derivan de las relaciones mutuas.

5. CREACION DEL MODELO

Por la diversidad de variables que conforman el sistema de protección social integral, haciéndolo de alta complejidad, se requiere optar por una estrategia metodológica que permita estudiarlas de forma independiente así como su relación causal. Modelar y simular su comportamiento en contextos como la Educación Superior, en este sentido, dada las bondades que se plantean en los conocimientos y lineamientos teóricos, así como las herramientas que utiliza la dinámica de sistemas se considero como una alternativa para modelación y simulación del sistemas integral de protección social para las instituciones de Educación Superior y la problemática asociada descrita.

6. MODELO CONCEPTUAL

A continuación se relacionan y describen las variables que conforman hasta el momento el modelo propuesto:

I.E.S: son las entidades de Educación Superior (universidades, Escuelas técnicas y tecnológicas, Centros de investigación), legalmente reconocidas por el Ministerio de Educación Nacional para ofertar programas académicos y realizar labores de formación, investigación y extensión que por su carácter de empleadoras se convierten en aportantes al sistema de Seguridad

social en corresponsabilidad con los trabajadores y funcionarios que laboran para ellas.

Afiliados: Representan las personas que en forman parte de los estamentos que conforman la educación superior, que son aportantes de recursos financieros al sistema a través de las deducciones de realizadas a los salarios devengados en dichas instituciones que se convierten en usuarios del servicio con su grupo familiar.

Aportes: Son los recursos financieras o cuotas parafiscales que los empleadores realizan al sistema de Seguridad donde confluyen las obligaciones de ellos como patronos y las cuotas descontadas a los trabajadores de acuerdo a lo establecido en la normatividad que regula el sistema.

Ingresos: los recursos financieros que las entidades del sistema tales como: las empresas promotoras de salud EPS, las entidades prestadoras de salud IPS, las administradoras de pensiones y cesantías, las cajas de compensación familiar, las administradoras de riesgos profesionales ARS, reciben de las empresas y trabajadores afiliados, así como las contribuciones o pagos por los servicios prestados cuando ello sea necesario, como también los otros ingresos financieros que las entidades pueden recibir por parte de los excedentes de proyectos estratégicos con los dineros que tienen un comportamiento pasivo dentro del capital de trabajo, con los cuales se pueden buscar liquidez inmediata o realizar proyectos que benefician la generación de capitales para mejorar la prestación de los servicios y las condiciones de infraestructura y logística del sistema y de las entidades que lo conforman.

Usuarios: las personas aportantes al sistema y los miembros de su grupo familiar que de acuerdo a las normas establecidas vigentes deban recibir los servicios que ofrece el sistema a través de los diferentes agentes sociales institucionales. La satisfacción social del usuario es el indicador para medir la calidad del servicio prestado y sirve como sensor para los planes de mejoramiento continuo en la prestación de los servicios.

Costos: son las erogaciones o apropiaciones que realiza la entidad prestadora del servicio de protección social, en salud, pensiones, cesantías, manejo de subsidios, administración de riesgos profesionales, en las operaciones propias de su objeto social misional, como también en los gastos administrativos de apoyo para lograr el objetivo institucional.

Utilidad: corresponden a los excedentes económicos resultantes de la comparación de los ingresos recibidos por el sistema como aportes y venta de servicios con los costos y gastos operacionales y administrativos en que incurre el sistema para la prestación del servicio.

Rentabilidad: son los beneficios que recibe la entidad en forma de dividendos por las utilidades comparadas con las acciones o aportes realizados al sistema.

7. DIAGRAMA CAUSAL

[8] Argumenta que el Diagrama Causal, constituye uno de los hitos importantes en el proceso de modelización, ya que para llegar al diagrama causal cada elemento debe tener un nombre propio; tener detectada las interrelaciones entre elementos y debe conocerse su signo. Con el establecimiento del diagrama causal los elementos pasan a llamarse magnitudes (variables y

parámetros); lo cual constituye un grado de formalización mayor.

En la figura 1, se presenta el modelo general que se elaboró para comprender y analizar el funcionamiento del sistema de protección social integral de las instituciones de Educación Superior en Colombia, el cual recoge parámetros y variables como: afiliados al sistema, aportes, ingresos, renta contingente, venta de servicios, costos totales fijos y variables, pacientes que representan los usuarios del servicio entre otros.

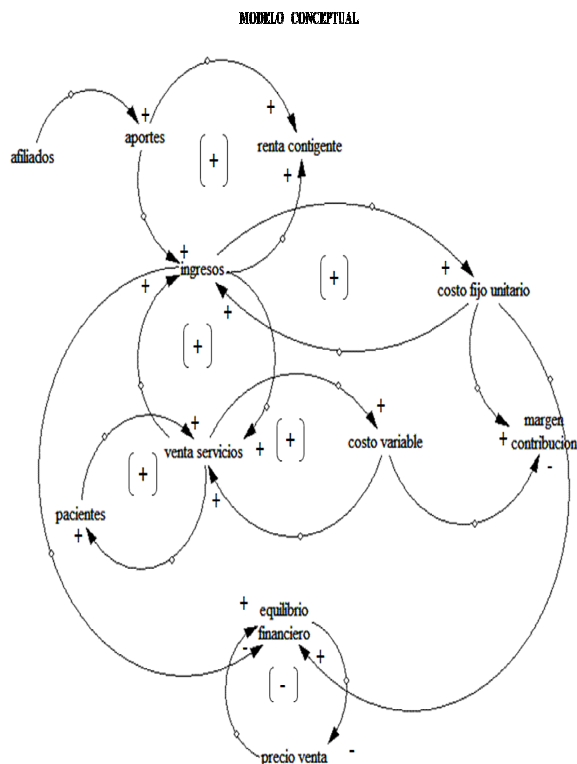


Figura 1. Modelo sistema de protección social integral de las instituciones de Educación Superior

8. MODELO BÁSICO DE GENERACIÓN DE BENEFICIOS ECONÓMICOS A LAS ENTIDADES DEL SISTEMA

En el presente modelo se analiza la generación de beneficios económicos partiendo de la incorporación de las instituciones de Educación Superior a un sistema cerrado en la conformación de un sistema integral de protección social, pero abierto en cuanto a la prestación de los servicios, por lo tanto se plantea que a mayor número de entidades afiliadas, se incrementa el número de posible afiliados al sistema, generándose un mayor volumen de aportes por concepto de parafiscales en salud, pensión cesantías y subsidio familiar, incrementándose de esa manera los ingresos del sistema para la prestación de los servicios a los usuarios de la salud al régimen contributivo, medicina prepagada, pensión de invalidez, vejez y muerte, pago de siniestros por accidentes laborales y medicina del trabajo.

De esta forma el sistema incurre en costos operacionales y administrativos que serán reducidos por la utilización de mano de obra de las mismas instituciones y mayor control de la gestión, esperándose una mayor rentabilidad e incremento de los beneficios por instituciones. Además los ingresos se verán incrementado por la inversión en proyectos rentables en actividades de las propias instituciones derivados de los recursos con cierto grado de congelamientos como las cesantías y pensiones, reaseguros por riesgos profesionales.

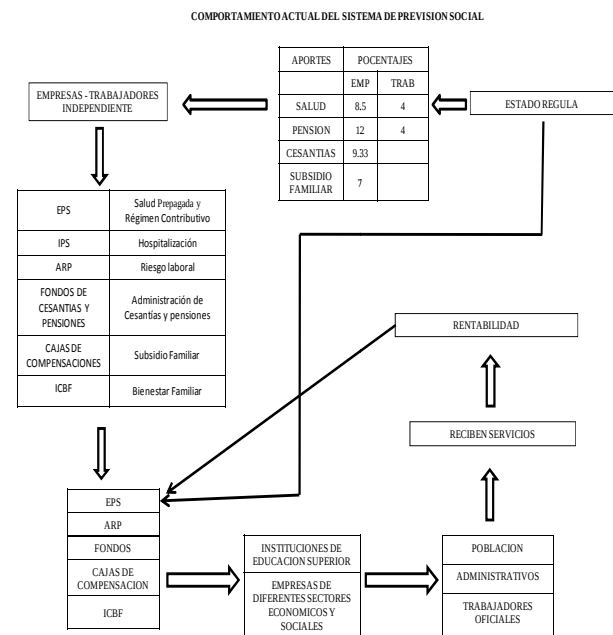


Figura 2. Representación del modelo de la situación actual.

La hipótesis consiste en que el sistema de protección social en Colombia, está conformado por la atención en salud, manejo de pensiones y cesantías, administración de riesgos profesionales, subsidio y bienestar familiar, estos conceptos y servicios son operados por las empresas prestadoras de salud (EPS), que atienden medicina general y especializada en las modalidades de medicina prepagada o régimen contributivo y subsidiado; las instituciones prestadoras de salud (IPS), que son los hospitales y clínicas que prestan servicios de hospitalización; los fondos de pensiones y cesantías que manejan las cesantías de los trabajador reportándole una rentabilidad; las Administradoras de riesgos profesionales y medicina del trabajo, (ARP) y por último las cajas de compensación familiar y Bienestar familiar que manejan el subsidio familiar y prestan variados servicios a los trabajadores afiliados.

Estas empresas se alimentan de los aportes económicos que tanto las empresas legalmente establecidas como los trabajadores independiente lo hacen con fundamento en la normatividad legal emitida por el gobierno así: Salud (12.5% del salario mensual devengado de los trabajadores) recaudados por las EPS; Pensiones y Cesantías (16% del salario mensual devengado de los trabajadores), recaudados por los fondos privados y públicos de pensiones y cesantías; Riesgos profesionales (% depende de los niveles de riesgo), recaudado

por las empresas de riesgos profesionales ARP. Y por ultimo un 7% del salario mensual devengado de los trabajadores para el subsidio familiar, valor recaudado por las cajas de compensación familiar y el Bienestar familiar. De esa forma se alimentan financieramente estas entidades del sistema para prestar los diferentes servicios, incurriendo en unos costos operacionales y generando una rentabilidad para las empresas que prestan dichos servicios.

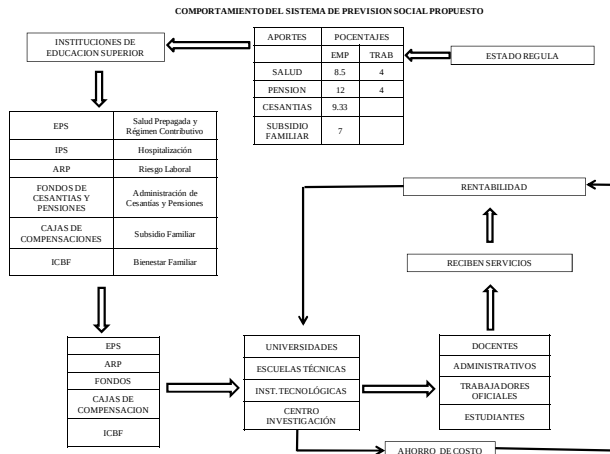


Figura 3. Representación del modelo de la situación propuesta

Se plantea que el Sistema de Educación Superior, conformado por las universidades y demás instituciones (escuelas técnicas y tecnológicas), en las diferentes modalidades presenciales, a distancia y virtual, conformen su propio sistema de protección social integral, incluyendo todos los servicios que se relacionaron anteriormente, para ello se requiere contar con los recursos que las entidades y las poblaciones de docentes, estudiantes, administrativos y trabajadores deben hacer a las empresas que actualmente prestan estos servicios, generándose de esta forma supuestamente una reducción de costos operacionales en el sistema por la utilización del recurso profesional que generan las instituciones de educación superior en las áreas de medicina, enfermería y todos sus derivados, así como de la administración y gerencia, psicología, sociologías entre otros, por otro lado, los hospitales y clínicas se podrán convertir en laboratorios de prácticas e investigación de las universidades, de esa manera la rentabilidad se verá incrementada y lo más importante se queda dentro del sistema de educación superior, pudiendo ser reinvertida en la oferta académica y labores de extensión e investigación que serían los beneficios de la propuesta.

MODELO BASICO DE GENERACION DE BENEFICIOS ECONOMICOS DEL SISTEMA DE PROTECCION SOCIAL INTEGRAL DE LA EDUCACION SUPERIOR

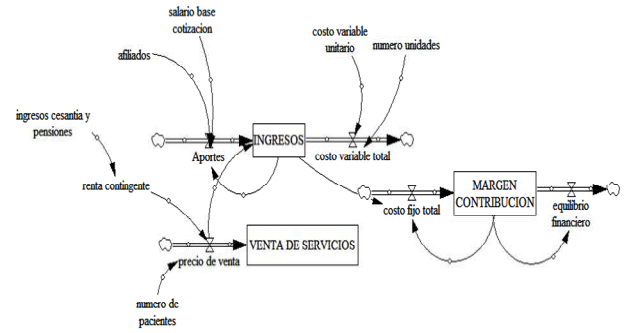


Figura 4. Modelaje asistido por ordenador

9. RESULTADO ESPERADO

Diseño de un diagrama de dinámica de sistema que modele el comportamiento del sistema integral de protección social de la educación superior.

Documentación de un sistema de protección social integral de las instituciones de educación superior.

Evidenciar las posibilidades de mejora de las condiciones de vida de las comunidades integrantes de las instituciones.

Cuantificación de los beneficios del flujo económicos del sistema integral de salud.

Diseño de escenarios producto del análisis de sensibilidad de las variables del sistema.

10. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Una vez analizado el comportamiento del sistema propuesto y observar la interacción de las variables aportes, afiliados, ingresos, utilidad, beneficios y rentabilidad, se pudo evidenciar que el modelo es viable para el sostenimiento del sistema y el aprovechamiento de la rentabilidad para las instituciones que lo conforman, siempre y cuando se logre el número de empresas afiliadas y de usuarios para lograr el beneficio esperado.

Dada la complejidad del modelo se requiere incrementar el número de variables e interacciones para lograr una mayor comprensión de escenarios que se presentan en la problemática de la seguridad social en cuanto a la incorporación de instituciones y usuarios del servicio.

11. REFERENCIAS

- [1] Zapata Juan. Coordinación y Gestión Territorial de la Política Social en Colombia. United Nations Publications, 2010
- [2] Constitución de 1991.
- [3] Ley 100 de 1993.
- [4] Renteria Carolina. Avances y Retos de la Política Social en Colombia. Departamento Nacional de Planeación 2008.
- [5] SNIES “Sistema Nacional de Información de la Educación Superior de Colombia” 2008.
- [6] Gómez Diego, Aparicio Sebastián y Zuluaga Mauricio. La Evaluación de Políticas de Emprendimiento como solución a la Pobreza en Medellín. Acercamiento desde la Dinámica de Sistemas. 8 Encuentro Latinoamericano y Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2010.
- [7] Forrester, Jay. System Dynamics and K-12 Teachers. Massachusetts. Institute of Technology Cambridge, USA 1997.
- [8] Uso Josep y Mahiques Mateo. Teoría del Medio ambiente: Modelización. Publicaciones de la Universidad Jaume I. Servei de Comunicacio 2004.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Deslizamiento de suelos visto desde la dinámica de sistemas

Gerard Olivar Tost

Universidad Nacional de Colombia

Sede Manizales

golivart@unal.edu.co

Carlos Peña Rincón

Universidad Sergio Arboleda

Bogotá

carlospena@usergio.arboleda.edu.co

RESUMEN

El interés de este trabajo es unificar dos procesos que se han venido trabajando de forma independiente con una variedad de técnicas en los deslizamientos de suelos profundos y superficiales. Nosotros utilizando la dinámica de sistemas en este tema de investigación, se logró identificar los atributos y las relaciones causales presentes después de un proceso de maduración en el problema.

Palabras Claves

Deslizamiento Superficial, conductividad hidráulica, infiltración, cohesión.

1. INTRODUCCION

Los deslizamientos de suelos ocurren como manifestaciones del rompimiento del equilibrio a consecuencia de la intervención de factores externos de tipo natural y antrópico. Los eventos de deslizamientos de suelos se manifiestan de diferentes formas: Avalancha de escombros, flujo retrogresivo, reptación, flujo de tierra, Extensión lateral, deslizamiento rotacional y superficial

Es de interés mundial el estudio de los deslizamientos de suelos por los efectos que causa entre ellos pérdidas humanas, económicas, destrucción de viviendas, obstrucciones en las vías que como consecuencia paralizan la movilidad y el flujo de transporte comercial aumento el costo de vida.

En países como EEUU, Gran Bretaña, España, Perú, Japón, Colombia y entre otros han conformado institutos, tales

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

como: SGS, Geological Survey, NLIC (National Landslide Information Center), IDEAM, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambiental), ICL (International Consortium on landslides), IPL (International Programme on Landslides), etc. Que a través de las ciencias como la geotecnia, geología, litología, climatología, agrología, ecología y la ingeniería civil. Han construido metodologías de investigación para comprender dos intereses importantes en los deslizamientos de suelos, tales como la estabilidad de los suelos y la dinámica de movimiento.

El método del equilibrio límite que establece ecuaciones de fuerza y de momento para cada rebanada que representa una partición del modelo aplicado al terreno. Entre estos modelos se encuentran el de Fellenius 1936, método modificado de Bishop 1955, método de equilibrio de fuerzas Lowe y Karafiath, 1960, Método de Morgenstern a Price 1965, método de Spencer 1967, y el método generalizado de Janbu 1968.

El método de elementos de frontera (BEM) [1] es un método numérico para la solución de problemas en la frontera y su aplicación para su análisis estático y dinámico de estabilidad de taludes. Otros métodos aplicados a los estudios de movimiento de masa es el uso de los elementos finitos, redes neuronales que permiten asignar un índice probabilístico a mapas de susceptibilidad obtenidos con técnicas de SIG (Sistemas de información Geográfico).

Como se comentó al inicio existen factores exógenos naturales que alteran el equilibrio de los suelos, como son; la actividad sísmica, volcánica y la lluvia. Para el caso de Colombia es importante considerar otras condiciones de topografía, hidrología y geología. En el trabajo del investigador Gonzalo Duque [2] reporta características de nuestra zona Andina, tales como fallas geológicas, la formación de suelos volcánicos, residuales y coluviones. Con presencia de rocas blandas, estas rocas son susceptibles al cambio de humedad dada por el ambiente tropical. Además tenemos dos épocas de lluvias bien marcadas en los meses de abril a mayo y de septiembre a noviembre, épocas del año donde la frecuencia de deslizamientos aumenta siendo mayor en la segunda temporada de lluvia. Ruth[3], Arango[4], han estudiado el régimen anual de lluvias y el aumento de la

frecuencia de deslizamientos buscando relacionar la curva bimodal de las precipitaciones con el registro de deslizamientos para obtener umbrales críticos de lluvia y lluvia acumulada apoyándose en estudios estadísticos.

En la literatura es reconocida la importancia de estudiar la influencia de las lluvias diarias y antecedentes en la ocurrencia de los deslizamientos superficiales y profundos en diferentes lugares del mundo. Van Asch, Buma, Van Beek [5] recopilaron la importancia diferentes detonantes de los sistemas hidrológicos para flujos de desechos, donde muestra que lo influyente para el caso de deslizamientos superficiales (1-2 m) es dado por la infiltración de la lluvia, el avance del frente húmedo, la percolación, la evapotranspiración, el ángulo de la pendiente, el contenido de humedad, la respuesta rápida de subida de las aguas subterráneas en las tormentas individuales y la clara dependencia de los datos meteorológicos.[6],[7].

En el caso de deslizamientos profundos (5-20 m), son dados por cambios en la presión de poros positiva sobre el plano deslizante inducido por los cambios de nivel de las aguas subterráneas.

Por último existen trabajos relacionados para deslizamientos superficiales donde se realizan combinación de modelos hidrológicos y de estabilidad de laderas. Alguno de ellos Jaime Vélez[8] que con ayuda del sistema de información geográfica HidroSIGv.3, realizaron el acople de dos modelos aplicándolo a una cuenca. Los investigadores M. casadei, Dietrich[9], utilizarón el modelo de pendiente infinita y el modelo hidrológico teniendo en cuenta la evapotranspiración, el caudal vertical, el horizontal, el cambio de la conductividad con la profundidad, los datos de precipitación, los datos de un modelo de elevación digital y la estimación de la profundidad del suelo con el modelo de Dietrich[10]. Estos son algunas de las muchas técnicas de investigación que se reportan en la literatura que *sin embargo no hemos encontrado algún estudio realizado desde la dinámica de sistemas, el tema de deslizamiento de suelos.*

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Existen diferentes tipos de deslizamientos para suelos, como la avalancha de escombros, flujo retrogresivo, Reptación, flujo de tierra, Extensión lateral, deslizamiento rotacional y deslizamiento superficial. Es de nuestro interés trabajar en deslizamientos superficiales y profundos donde el factor detonante a considerar es la intensidad y la duración de la lluvia para un suelo con tres estratos. El primer estrato está ubicado cerca a la superficie del suelo que algunas veces se encuentra cubierta de vegetación permitiendo capturar con mayor facilidad el agua de la lluvia, y motivando a una serie de procesos como la infiltración, el contenido de agua, y el avance del frente húmedo. En el segundo estrato se presenta la acumulación de agua denominada nivel de agua freático (NAF), la transición del caudal vertical y horizontal. El tercer estrato está formado por roca de características poco permeables.

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS RELACIONES CAUSALES

La lluvia actúa sobre la estabilidad del suelo de dos maneras: por su intensidad, disminuyendo la cohesión aparente que a su vez disminuye la Resistencia al corte y el factor de seguridad, produciendo movimientos de masa superficial (hasta de 2m)[11].

Por su duración, causa un aumento en el nivel freático incrementando la presión de poros sobre la superficie de falla

potencial produciendo movimiento de masa profundos,[12]. Los reportes señalan que existe una correlación entre el nivel freático y las precipitaciones.

Se sabe que las precipitaciones, la vegetación, el sol y el suelo constituyen la dinámica del ciclo hidrológico, manifestándose en diferentes procesos como: la infiltración, la escorrentía, la percolación, los acuíferos y la evapotranspiración. Causando cambios en los parámetros que caracterizan el suelo, entre ellos están la succión, la cohesión, la porosidad, la granulometría y la conductividad hidráulica. Utilizando la metodología de la dinámica de sistemas se pudo establecer los atributos que caracterizan al deslizamiento de suelos y sus relaciones.

3.1 Relaciones Causales

1. La Intensidad de lluvia al aumentar, realiza una disminución en la cohesión aparente, que a su vez, disminuye la resistencia al cortante, debilitando el factor de seguridad y llegando a producir deslizamientos superficiales. [11].
2. Las lluvias de larga Duración aumentan el nivel de agua freática, e inmediatamente la presión de poros aumenta, llegando a producir deslizamientos de profundos [12]
3. En suelos homogéneos cuando la conductividad cerca a la superficie es alta, permite una mayor infiltración, aumentando rápidamente el Nivel de agua Freática. [11]
4. Durante la lluvia, la capacidad de infiltración es controlada por la permeabilidad, el contenido de agua y la topografía de la pendiente. [13]
5. la permeabilidad varía con la cohesión, con la profundidad, con el contenido de agua volumétrica, con la porosidad y depende de la dirección. [14]
6. La cohesión en suelo residuales no saturados se puede dar como una función del contenido de agua volumétrica. [15]

A continuación se presenta el diagrama de influencias de los atributos que contribuyen a la dinámica de la estabilidad del talud.

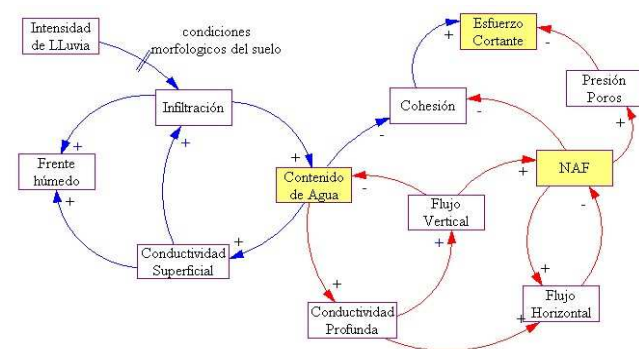


Figura 1. Diagrama Causal

En la figura No. 1 se presenta los atributos conectados con flechas azules indicando que ellos son los responsables de los deslizamientos superficiales y las flechas rojas aquellos que son los responsables de los profundos, los atributos que se resaltan en amarillo consideramos las variables de estado.

3.2 Diagrama de Niveles y Flujos

Los atributos de Nivel de agua freática, contenido volumétrico de agua, Distribución de charcos y esfuerzo cortante, representan las variables de estado del sistema de deslizamiento de masas. Estas variables ofrecen la dinámica de la estabilidad del terreno, los flujos se encargan de realizar modificaciones a las variables de estado, estas son: la cohesión, presión de poros, intensidad de lluvia, infiltración, el caudal horizontal y el caudal vertical.

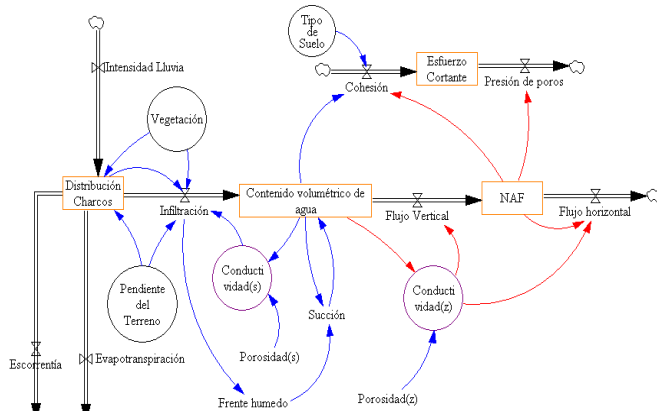


Figura 2. Diagrama de Niveles y Flujos

4 CONCLUSIÓN

Se ha interconectado el comportamiento de los subsistemas presentes en el sistema de los deslizamientos superficiales y profundos debido al factor detonante de lluvia. A través de la dinámica de sistemas, se identificó las variables, sus parámetros, las relaciones e influencias entre ellas, Figura N2. Esto permitirá proponer un modelo de ecuaciones diferenciales que integre la respuesta de la lluvia con la profundidad. Permitirá proponer un modelo de ecuaciones diferenciales que integre la respuesta de la lluvia con la profundidad.

5 TRABAJOS FUTUROS

Construcción de las funciones auxiliares que corresponden al campo vectorial del sistema de ecuaciones diferenciales, posteriormente el análisis de bifurcaciones y la utilización de un programa de cómputo que integre varias herramientas que permite construir escenarios de deslizamiento de suelos.

1. REFERENCIAS

- [1] González G. Elena, Aspectos Geomecánicos de los Deslizamientos rápidos: Modelación y diseño de estructuras de contención, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2003
- [2] Escobar G. Duque. Riesgo en la zona Andina Tropical por laderas inestables. Simposio sobre suelos del eje cafetero, Universidad Nacional. Manizales, 2008.
- [3] Mayorga Marquez Ruth, *Determinación de umbrales de lluvia detonantes de deslizamientos en Colombia*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2003
- [4] Arango J. Relaciones lluvia –deslizamiento y zonificación geotécnica en la comuna 2 de la ciudad de Manizales. Universidad nacional de Colombia, sede Medellín. Tesis 2000.
- [5] Van Asch W. J., Buma J., Van Beek L.P. H., *A view some hydrological triggering systems in landslides*, Geomorphology, vol30, p 25-32. 1999.
- [6] Gavin K., Xue J., *A simple method to analyze infiltration into unsaturated soil slopes*, Computers and Geotechnics. P 223-230. 2007.
- [7] Novk V. *Are fuzzy sets a reasonable tool for modeling vague phenomena, fuzzy sets, and systems*. Elsevier science Ltda, vol. 156, 2005.
- [8] Vélez Jaime, Velez I, Villaraga M.R., Álvarez O. D., Alarcón J. E., Quintero F. *Modelo distribuido para determinar la susceptibilidad al deslizamiento superficial por efecto de Tormentas intensas y sismos*, .Boletín de las ciencias de la Tierra Universidad nacional de Colombia, sede Medellín, No 17. 2005.
- [9] M. Casadel, W.E. Dietrich, N. L. Miller, . *Testing a Model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil. Mantled landscapes*, Earth Surface Processes and landforms. Vol 28 p 925-950, 2003
- [10] Dietrich W.E., Reiss R. Hsu M., Montgomery D.R., *A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data*. Hydrological process. Vol 9, p 3838-400. 1995.
- [11] P. Aleotti. *A warning system for rainfall-induced shallow failures*. Engineering Geology, vol 73, p 247-265, 2004.
- [12] Ong T. H. Rezaur R.B. Leong E.C. Rahardjo, H. *Factors controlling instability of homogeneous soil slopes under rainfall*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol 133 pp 1532-1543. 2007.
- [13] Jianfeng Xue Kenneth Gavin . *A simple method to analyze infiltration into unsaturated soil slopes*. Computers and Geotechnics. Vol 35. P223-230. 2008.
- [14] Braja M. Ds. *En Advanced Soil Mechanics*. Taylor and Francis, 2009.
- [15] Y. Matsukura, Y. Matsushi. *Cohesion of unsaturated residual soils as function of volumetric water content*. Bull Eng Geol Env, vol 65 . p 449-455- 2006.
- [16] J. Aracil Gardillo. *Dinámica de Sistemas*, Alianza Editorial, S.A. de Madrid, 1997.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo para Biorremediación de Suelos Contaminados. Una Aproximación con Dinámica de Sistemas.

Model for Bioremediation of Contaminated Soils. A System Dynamics Approach

Esp. Danny W. Ibarra V.
Universidad Sergio Arboleda.
ingbiodanny@gmail.com

MSc. Johan M. Redondo O.
Universidad Sergio Arboleda.
galileo@ima.usergioarboleda.edu.co

Línea de Investigación: Complejidad Ambiental

RESUMEN

En este documento construimos un modelo para el estudio de biorremediación de suelos contaminados con residuos peligrosos, (hidrocarburos) realizado con la metodología de la dinámica de sistemas. La Biorremediación es una técnica para descontaminar por medio de la degradación microbiológica los suelos o aguas, que tienen diferentes agentes contaminantes. Para este trabajo se ha realizado un análisis entre la dinámica del crecimiento de los microorganismos descontaminantes y su uso en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Se estableció la relación entre la cinética del crecimiento y la capacidad de biodegradación de los microorganismos, de un área de suelo contaminado. En este modelo tenemos las variables suelo contaminado, Suelo biorremediado, población microbiológica (x) y su influencia con las actividades de biodegradación y contaminación por los residuos peligrosos, con sus respectivas simulaciones. Siendo estos los primeros resultados de nuestra investigación en dirección a ese propósito.

Palabras Claves

Biorremediación, Dinámica de sistemas, Contaminación, Suelo

ABSTRACT

In this paper we built a model for the study of bioremediation of soils contaminated with hazardous waste (Hydrocarbons) made

with the methodology of system dynamics. Bioremediation is a technique to decontaminate through microbiological degradation of soils and waters, which have different pollutants. For this work we have undertaken an analysis of the dynamics of growth of microorganisms and their use in decontaminating the bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons. He established the relationship between the kinetics of growth and biodegradation capacity of microorganisms, an area of contaminated soil. In this model have the contaminated soil variables, soil bioremediation, microbial population (x) and their influence on biodegradation activities and pollution from hazardous wastes, with their simulations. These being the first results of our research toward this end.

Keywords

Bioremediation, System Dynamics, Contamination, Soil

1. INTRODUCCIÓN

La industria de los hidrocarburos, siempre se ha caracterizado por tener un alto potencial de contaminación, y se le ha señalado como una de las principales causas de destrucción de los ecosistemas edáficos, por todas las actividades diarias que conlleva toda esta cadena productiva [1]. El suelo es un recurso natural no renovable, con una función importante en la vida y en el desarrollo de la humanidad. Este es el punto más sensible de las actividades de exploración, perforación y explotación, ya que siempre son los principales afectados por los diversos residuos que genera la industria petrolera, más conocidos como residuos peligrosos.

Existen diferentes técnicas físico-químicas para controlar y mitigar este tipo de contaminación; sin embargo en los últimos años se ha demostrado que la aplicación de métodos biológicos han resultado ser eficientes y adecuados, debido a que causan menor impacto en el sitio del problema [2,3]. Entre las técnicas biológicas de descontaminación, la más conocida es el proceso de

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

biorremediación, esta es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (generalmente bacterias) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples, poco o nada contaminantes [4].

Para optimizar el proceso surgió un sistema denominado *landfarming*, este es un sistema de biorremediación por aplicación repetida de bioestimulación debidamente acondicionada con nutrientes, y condiciones físicas óptimas para el crecimiento bacteriano. Por este motivo es importante tener en cuenta las características del suelo y su relación con los microorganismos sobre los cuales se trabaja [3,19].

En el sistema *landfarming*, uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, es la capacidad de adaptación que pueda tener la biomasa, la cual dentro de su metabolismo va a degradar los agentes contaminantes, que se encuentran en el lugar de estudio, es por esto que se establece una relación directa entre la población de microorganismos y el suelo contaminado que se va a biorremediar.

El objetivo de este trabajo, es crear un modelo a través de la dinámica de sistemas, que se aproxime al proceso de biorremediación (*landfarming*) que hoy en día se está aplicando en diferentes lugares del mundo. Para tratar de entender sistémicamente el problema se planteó las siguientes variables, la población microbiológica, suelo contaminado, suelo biorremediado y los residuos peligrosos que contaminan el suelo. Fue posible demostrar a través de simulaciones con el software *iThink 9.1.4* que la biorremediación es una técnica de muy buenos resultados en materia de descontaminación de suelos con residuos de hidrocarburos. Por último, se presentan algunas conclusiones y recomendaciones acerca del modelo y del trabajo futuro

1.1 Biodegradación

La biodegradación es el proceso de la digestión, asimilación, y metabolización de un compuesto orgánico, llevado a cabo por bacterias, hongos, protozoos y otros organismos [5]. Este proceso de biodegradación incluye las siguientes reacciones: oxidoreducción, procesos de adsorción e intercambio de iones, y reacciones de quelación de formación de complejos que dan lugar a la fijación de metales. Para estos procesos se deben tener en cuenta algunos nutrientes para que se pueda completar la ruta metabólica (ver imagen 1).

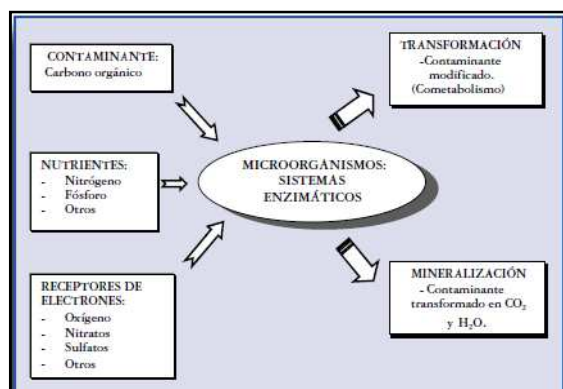


Imagen 1. Ruta de Biorremediación.
Fuente Universidad de Oviedo [11]

Para el suelo contaminado con hidrocarburos se utiliza una biodegradación aerobia que se describe de la siguiente forma [6].



Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados por carbón e hidrógeno, los cuales pueden existir en forma de cadenas lineales ramificadas o bien, formando anillos [7]. Teniendo en cuenta esto, también tienen la posibilidad de ser degradados a una estructura molecular más simple, dependiendo del proceso que se le aplique. Así mismo se ha encontrado que una gran variedad de bacterias, hongos, levaduras, ciertas cianobacterias y algas verde-azules son capaces de degradar hidrocarburos. Sin embargo, las bacterias parecen ser los degradadores prevalentes en ecosistemas acuáticos y terrestres [8,16].

La degradación microbiana es una de las principales rutas, mediante la cual, los hidrocarburos son removidos de ambientes contaminados. Esta depende de la cinética del crecimiento, que está determinada por la curva de crecimiento microbiano (ver imagen 2). Esta tiene 4 fases establecidas [8]. Las cuales son: fase de latencia, en la que se presenta una adaptación al medio y se preparan las enzimas para degradar compuestos. Luego sigue la fase exponencial o de crecimiento, donde comienza la división celular y reproducción de los microorganismos, esta fase depende de las condiciones que tenga el medio para su crecimiento y del tiempo de duplicación celular de cada especie. Después se presenta la fase estacionaria, allí la población se mantiene constante. Ya que el tiempo de duplicación es igual a la vida media. Y por último esta la fase de muerte, allí el número de muertes es mucho mayor al de divisiones.

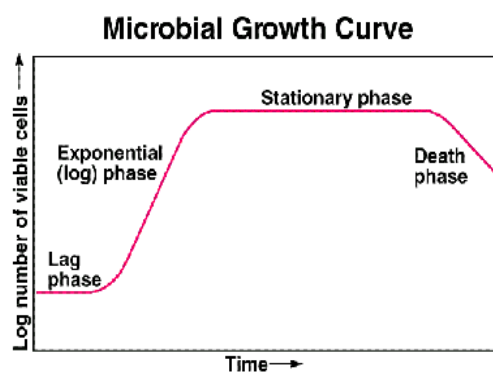


Imagen 2. Fuente Biología de los Microorganismos [8]

Para este modelo se tuvo en cuenta la cinética de biodegradación planteada por Larson y Payne, (1981) que consisten en la siguiente Ecuación [9].

$$C = C_0 \cdot e^{-kt}$$

Donde C , es la concentración de sustrato que permanece en el medio, C_0 es la concentración inicial de sustrato, k es la constante de velocidad (tiempo⁻¹), y t el tiempo

2. METODOLOGÍA

Debido a la cantidad de factores que intervienen en la biorremediación y su relación con la degradación microbiológica, se hace necesaria la implementación de una metodología que permita trabajar dicha complejidad. Una de las alternativas metodológicas que mejor se adapta a este tipo de problemas sistémicos es la que nos ofrece la Dinámica de Sistemas. Se logra establecer diagramas causales, de niveles y flujos y sus respectivas simulaciones con el software *iThink*.

2.1 Diagrama Causal.

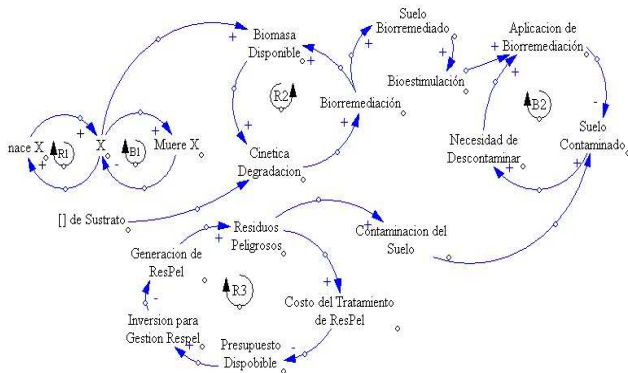


Fig. 1 Diagrama Causal Biorremediación. Fuente: Ibarra, D., Redondo, J.M.

Según nuestra hipótesis planteada en el diagrama causal, (ver figura 1). Para que exista biorremediación es necesario tener en cuenta la población de los microorganismos(x) que al momento de adaptarse al medio será tomada como la biomasa disponible para biodegradar.

También se debe tener en cuenta como aspecto principal la actividad enzimática de estos organismos para valorar la cinética de degradación [9]. Puesto que a mayor cinética de degradación entonces tendremos mayor proceso de biorremediación [10]. Al haber mas biorremediación quiere decir que existe una descontaminación del suelo, lo cual incrementa la cantidad de suelo biorremediado. Para que este proceso sea eficiente en su descontaminación, se necesita de la aplicación de tecnologías que optimicen la biorremediación, es por esto que al suelo biorremediado se la realiza bioestimulación. Esto consiste en realizar modificaciones en el medio, mediante el aporte de nutrientes, aireación y otros procesos [11]. Al haber mayor bioestimulación, entonces los microorganismos se adaptan con mayor rapidez y activan su capacidad de degradación enzimática [12]. Entonces hay mayor aplicación de la biorremediación, lo cual hace que disminuya la cantidad de suelo contaminado. Entiéndase suelo contaminado como aquel que representa una amenaza para la salud humana y el medio ambiente, debido a las sustancias presentes en o bajo el suelo, generalmente debido a un mal uso previo [13].

Ahora debemos conocer de donde proviene el suelo contaminado. Como es bien sabido, el suelo es un recurso natural definido generalmente como la capa superior de la corteza terrestre; está

formado por partículas de minerales, materia orgánica, agua, aire y allí nacen y se desarrollan miles de seres vivos, desde microorganismos hasta plantas y animales superiores [14].

El suelo se contamina por las actividades industriales y agrícolas del hombre, para este caso, la contaminación proviene de los residuos peligrosos que genera la industria petrolera.

Se les considera peligrosos a los residuos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radioactivas, pueden casar riesgo o daño para la salud o el ambiente [15,21].

El petróleo está compuesto por diferentes componentes, cada uno de los cuales tienen distinto grado de toxicidad, y diferente tiempo de permanencia en el ambiente [23]. Por esto todos sus residuos requieren de un tratamiento específico, el cual acarrea un costo elevado puesto que para su manejo, se requiere de empresas especializadas en el tema. Este incremento en el costo de tratamiento de los residuos, hace que disminuya el presupuesto disponible para la inversión en los planes de gestión ambiental y de residuos. Estos planes están encaminados a realizar una minimización, adecuado manejo y disposición de dichos residuos con el fin de que se generen los menos residuos posibles y así tratar de disminuir la contaminación.

2.2 Diagrama de Niveles y Flujos.

Partiendo del diagrama causal vemos la relación que existe entre los residuos peligrosos que se generan y la contaminación de los suelos. En niveles y flujos se observa la estructura de la generación de residuos peligrosos (Rp). (Ver figura 2) Afectado por una tasa e de generación, relacionada con la inversión para su gestión.

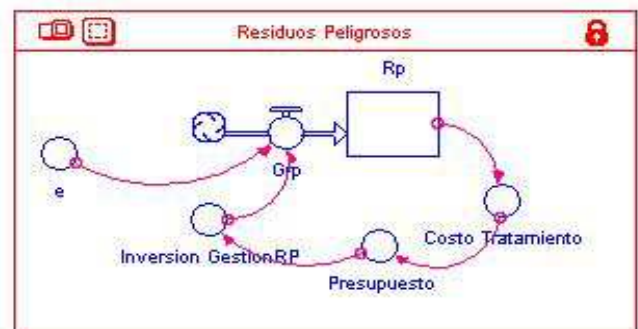


Fig. 2 Diagrama de Niveles y Flujos Residuos Peligrosos. Fuente: Ibarra, D., Redondo, J.M

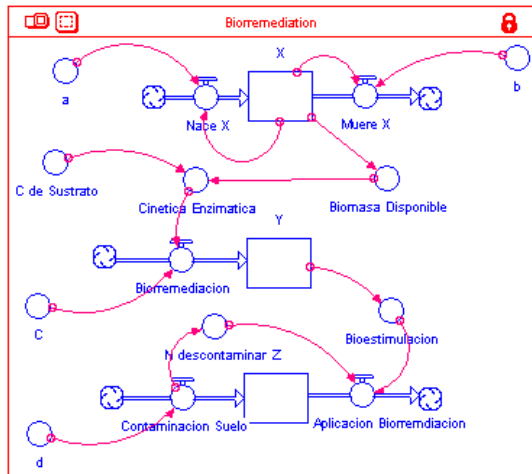


Figura 3. Diagrama de Niveles y Flujos del Proceso de biorremediación. Fuente: Ibarra, D., Redondo, J.M.

Estos residuos peligrosos son un foco de contaminación, lo cual influye de manera directa en la variable contaminación del suelo, ya que causa que se incremente la concentración de materiales contaminantes y a su vez va a presentar una acumulación en la variable suelo contaminado (Z) (ver figura 3)

El modelo en niveles y flujos planteado para la biorremediación de suelos contaminados (ver figura 4). Consta de 4 variables de niveles. Cada una está definida de la siguiente manera: X es la población de microorganismos, a y b tasas que representan, el tiempo de duplicación y la vida media respectivamente. Y es la cantidad de suelo biorremediado, c es la tasa asociada al proceso de biorremediación y está relacionada con la cinética enzimática. Z es la cantidad de suelo contaminado, d es la tasa de contaminación dada por los Residuos peligrosos, e es la tasa de generación de residuos peligrosos. f es la tasa de optimización de la biorremediación.

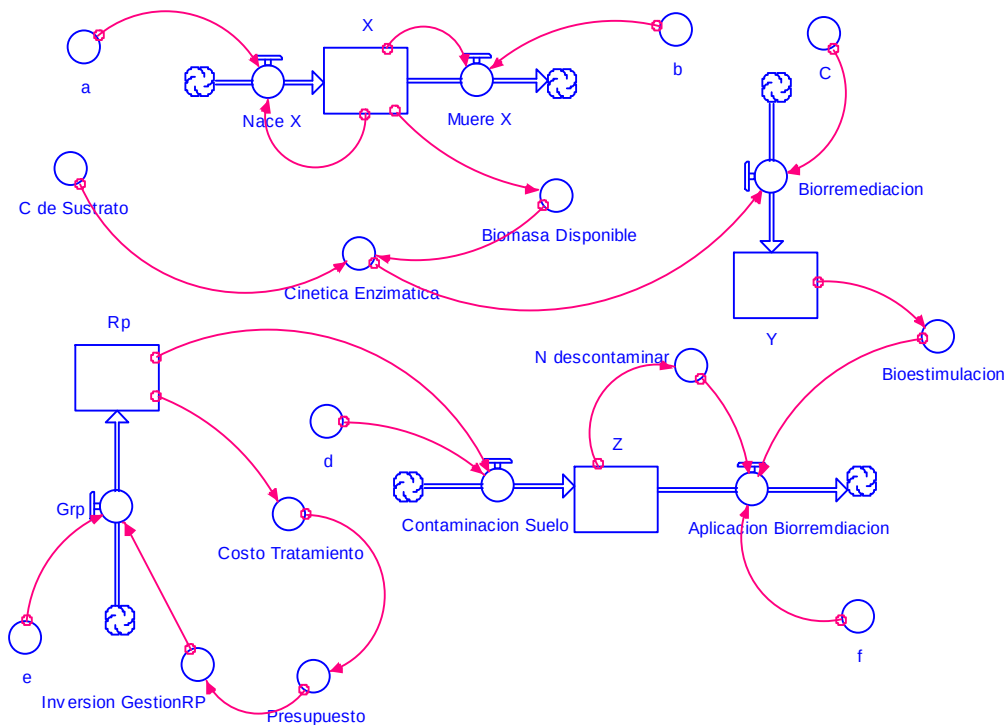


Fig. 4 Modelo de Biorremediación de Suelos Contaminados. Niveles y Flujos Fuente: Ibarra, D., Redondo, J.M.

3. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de correr el modelo, y realizar algunas simulaciones este nos muestra, en la simulación 1 (ver figura 5) que teniendo en cuenta a la población de microorganismos disponible para llevar a cabo el proceso de biorremediación, no se logró adaptar al suelo y a la concentración de sustrato necesaria para pasar de su fase de adaptación a su fase exponencial, lo cual llevó a que la población

de microorganismos, realizara una biorremediación, hasta el punto en que la actividad enzimática llegó al límite.

En la siguiente simulación, (ver figura 6.) Se aumentó la concentración de sustrato y el tiempo de duplicación de la población de microorganismos, lo cual muestra una curva de crecimiento pasando por una fase de adaptación y la fase exponencial. Paralelamente, podemos predecir que aumenta la actividad enzimática lo cual lleva a que el proceso de

biorremediación comience a arrojar resultados óptimos y similares al del crecimiento de los microorganismos.

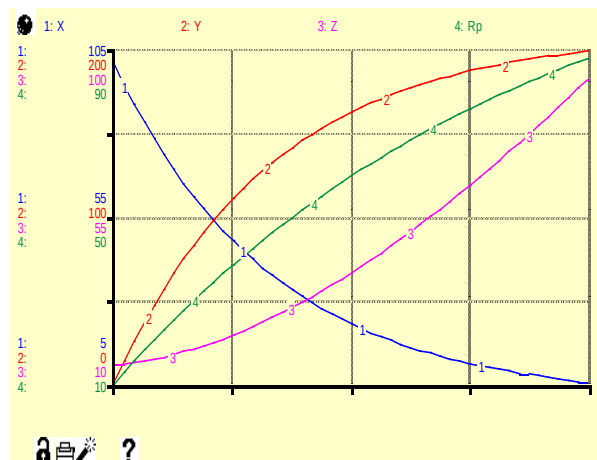


Fig., 5 Simulación 1

Los residuos peligrosos, como se había visto en el diagrama casual, afectan de manera directa la contaminación del suelo, lo cual después de algunos meses y por la aplicación de un plan de manejo ambiental, se empieza a disminuir su generación, pero no es suficiente para incidir en el comportamiento del suelo contaminado, ya que estos residuos ocasionan un daño letal como para verse reflejada la disminución de la contaminación en tan poco tiempo.

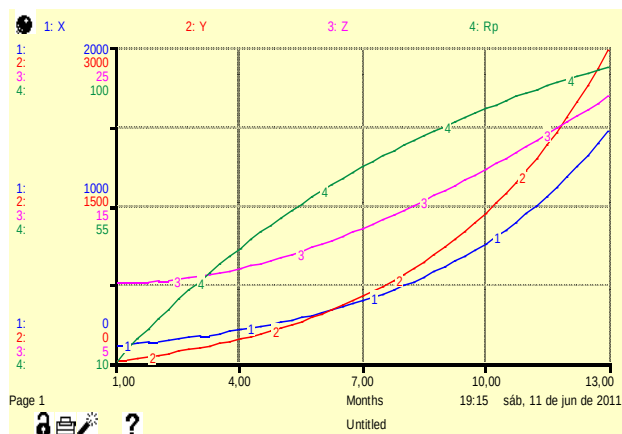


Fig. 6 Simulación 2

Se realizó una tercera simulación, (ver figura 7) esta muestra el proceso de crecimiento de los microorganismos en el cual su actividad enzimática está en su fase exponencial. Allí, es donde están produciendo todos sus metabolitos primarios y secundarios [8], es decir, que es la mejor etapa para la biodegradación de agentes contaminantes, de igual manera se tuvo en cuenta que el incremento de los residuos peligrosos y la contaminación del suelo hacen limitar el crecimiento de los microorganismos, posiblemente por esto tienda a la fase estacionaria.

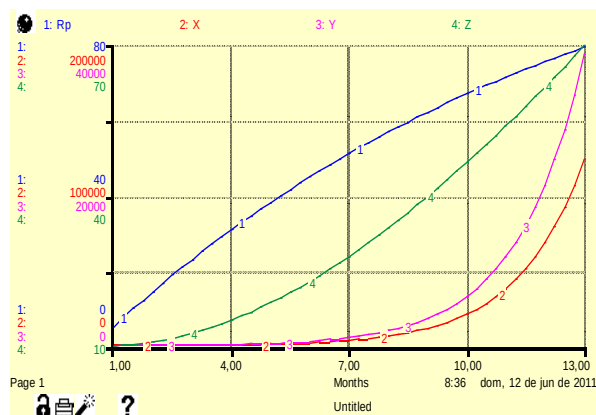


Fig. 7 Simulación 3

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El modelo nos permitió observar el comportamiento de las variables, población de microorganismos, suelo biorremediado, suelo contaminado, y residuos peligrosos. Lo cual nos muestra que la biorremediación es un proceso biológico de mucho potencial para biorremediar los suelos contaminados con hidrocarburos, siempre y cuando se tengan las condiciones ideales para estimular el crecimiento microbiano y este se logre adaptar al medio donde va a realizar su actividad enzimática.

Es evidente que es un modelo general de la biorremediación, por ende es necesario tener en cuenta más atributos y complejizar más el sistema, de tal manera que se logre adecuar un modelo que nos permita ver el comportamiento de la biorremediación en otros escenarios, dependiendo del tipo de contaminante existente en el suelo.

5. REFERENCIAS

- [1] Fontúrbel, F., Achá, D. 2003. Sinopsis de los estudios de biorremediación de petróleo realizados en suelos del Lago Titicaca: una alternativa social y ambientalmente viable a los problemas de contaminación por hidrocarburos. pp. 93-100.
- [2] Johnsen A, Wick L, Harms H. Principles of microbial PAH degradation in soil. Environ Pollut. 2005; 133:71-84.
- [3] Maila M, Cloete T. Bioremediation of petroleum hydrocarbons through landfarming: are simplicity and cost-effectiveness the only advantages? Rev Environ Sci Biotechnol. 2004; 3:349- 60.
- [4] Sanchez, J.M. Rodriguez, J.L. Fundamentos y aspectos microbiológicos. Biorremediación. Universidad de Oviedo pg 12-16 2004.
- [5] Aronson, D Anaerobic Biodegradation of organic chemical in ground water. 3° Ed. New York, Mc Graw Hill 1997 pp. 252

- [6]. Kiely, G. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión 3º Ed. Madrid: Tecnos 2001. Pp. 60-62
- [7]. Lazcano A. – Araujo. Origen de la vida. (1983) Definiciones. pps finales
- [8]. Madigan M.T., Martinko J.M., and Parker J. (1999) Brock Biología de los Microorganismos, 8va edición. Ed Prentice Hall Iberia, Madrid España. pp 532-606
- [9]. Larson, R. y Payne, A. (1981) *Fate of the benzene ring of linear alkylbenzene sulfonate in natural waters*. Appl. Environ. Microbiol. 41, 3, pp 621-627.
- [10]. Ilyina A., Castillo Sánchez M.I., Villarreal Sanchez J. A.*, Ramirez Esquivel G., Candelas Ramirez J. Isolation of soil bacteria for bioremediation of Hydrocarbon contamination
- [11]. Sánchez, J.M. Rodríguez, J.L. Aspectos tecnológicos y aplicación al vertido del Prestige Biorremediación. Universidad de Oviedo pg. 17-21 2004
- [12]. Montejó, M., Medición de la calidad de un suelo biorremediado a través de la actividad enzimática de: lipasa, deshidrogenasa y ureasa. Ciencias Químicas Universidad Veracruzana México 2009
- [13]. Contreras, P. Herrera, L. Suelos Contaminados Con Hidrocarburos: Rna 16s Como Indicador De Impacto Universidad De Chile, Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento De Ingeniería Química y Biotecnología Chile 2004
- [14]. COM, 2002: Towards a thematic strategy for soil protection. Commission of the European Communities. Bruselas, 2002.
- [15]. Colombia, Diario Oficial, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 4741 de 2005
- [16]. Gastélum-Reynoso, G. López-Malo, A. and Palou, E. System dynamics: A Complementary Tool for Predictive microbiology
- [17]. MENN F., J. EASTER, and G. SAYLER Genetically Engineered Microorganisms and Bioremediation
- [18]. PROFEPA. 1999. Restauración De Suelos Contaminados. Memorias del grupo de Trabajo sobre Restauración de Suelos Contaminados. P. 1.
- [19]. P. J. S. Colbert and L. Y. Young. *Anaerobic Degradation of Nonhalogenated Homocyclic Aromatic Compounds Coupled with Nitrate, Iron, or Sulfate Reduction*. In *Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals*, pp. 307–330, Wiley-Liss, New York (1995)
- [20]. Van Impe, J.F., F. Poschet, A.H. Geeraerd and K.M. Vereecken. 2005. Towards a novel class of predictive microbial growth models. *International Journal of Food Microbiology* 100:97-105
- [21]. U.S. EPA. *Handbook on In Situ Treatment of Hazardous Waste Contaminated Soils*, EPA/540/2-90/002.
- [22]. Aracil Javier, Gordillo Francisco (1997). Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial S.A., Madrid
- [23]. Di Toro, D.M. McGrath, J.A., Stubblefield, W.A. (2007). Predicting the Toxicity of Neat and Weathered Crude Oil: Toxic Potencial and the Toxicity of Saturated Mixtures. *Environmenatl Toxicology and Chemistry* 26(1): 24–36.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Formulación de políticas para la penetración de las Smart Grid en Colombia

Natalia Castaño

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8
(+4) 4255350
ncastanj@unal.edu.co

Carlos J. Franco

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8
(+4) 4255350
cjfranco@unal.edu.co

RESUMEN

Las exigencias de los usuarios en materia de suministro de energía y el constante crecimiento de la demanda de electricidad obligan a la búsqueda de opciones y nuevos desarrollos que permitan mejorar el sistema eléctrico y suplir satisfactoriamente las necesidades de dichos usuarios. Esta creciente demanda se da en gran medida en las horas pico, lo que provoca grandes picos en la curva de carga y esto a su vez hace que se deba tener gran capacidad instalada para poder suplir las necesidades de los usuarios en estos periodos picos, los cuales se dan en cortos periodos de tiempo. Debido a esto, nace smart grid como un enfoque para mejorar las condiciones actuales del sistema, suplir satisfactoriamente las necesidades de los usuarios, utilizar los recursos eficientemente y brindar a los usuarios mayor autonomía en la cadena de electricidad. La implementación de nuevas tecnologías y metodologías son claves, pues por medio de estas se podrá tener control del sistema en tiempo real e información sobre consumos y precio de la electricidad, que permita al usuario tomar decisiones y así obtener beneficios, casi siempre económicos. La implementación de estos dispositivos conlleva una inversión en dinero y en tiempo por parte del usuario, ya que para poder recibir un ahorro el usuario debe comprar los dispositivos necesarios, administrarlos y estar al tanto de los cambios en las tarifas y consumos para así poder reducir los costos de sus facturas. Dado que el usuario es importante para la implementación de las Smart Grid, su comportamiento será estudiado por medio de un modelo de dinámica de sistemas, por medio del cual se evaluarán políticas para su adecuada implementación.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Palabras Clave

Dinámica de sistemas, Dispositivos inteligentes, pico de demanda, Smart Grid.

1. INTRODUCCION

Un manejo óptimo de los recursos es el objetivo del sector energético, por lo que se deben estudiar y evaluar métodos que permitan usar de manera eficiente los recursos actuales del sistema de manera que se suplan las necesidades de los usuarios.

La problemática de la demanda cambiante y los elevados picos en la curva de demanda de electricidad, obligan a realizar fuertes inversiones en infraestructuras para poder suplir dicha demanda en los cortos periodos de tiempo en los que se da, lo que conlleva a que se deba tener gran capacidad instalada solo para periodos cortos del día (Farhangi, 2010).

Para lograr la correcta administración de los recursos es necesaria la implementación de nuevas tecnologías y metodologías que ayuden en esta tarea y permitan tener un control y monitoreo del estado del sistema en tiempo real.

Tener información de esto es necesaria para que los usuarios puedan tener control sobre sus consumos y el precio que estos representan y así brindarles las herramientas para que tomen las decisiones que les permitan obtener un ahorro en sus facturas, gracias a que podrán mermar sus consumos en las horas en las que la electricidad es más costosa y consumir más en las que está presente un precio más bajo.

La penetración y adición al sistema de componentes inteligentes se hace necesaria, pues estos son el medio para optimizar el uso de las redes de suministro de electricidad y tener un mayor control por parte del usuario gracias a la información en tiempo real de sus consumos, precios de la electricidad, proyecciones de demanda y costos, entre otros (Santacana, E., Husain, B., Pinnekamp, F., Halvarsson, P., Rackliffe, G., Tang, L., Feng, 2010).

En la Figura 6. Demanda diaria de electricidad (Fuente: XM, 2007) se muestra la curva de potencia diaria, se puede ver que se tienen horas en las que la demanda es pico, por lo que es necesario que los consumidores (usuarios) y la industria de electricidad trabajen conjuntamente para así lograr reducir la demanda diaria de energía en las horas en que se presentan estos picos, siendo estas horas en las que la electricidad presenta mayores costos y se utilizan tecnologías menos eficientes y ambientalmente sucias.

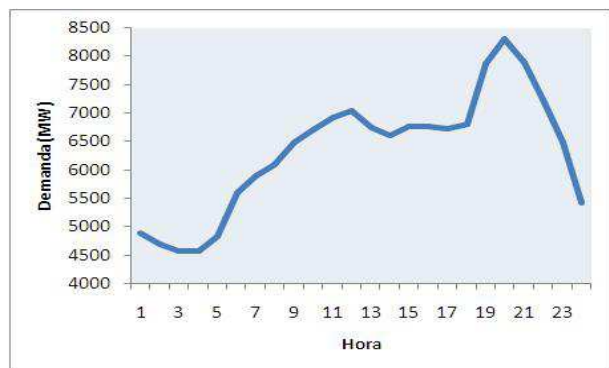


Figura 1. Demanda diaria de electricidad. (Fuente: XM, 2007)

En la Sección 2 se habla de Smart Grid y las mejoras que puede traer al sistema eléctrico; en la sección 3 se presenta como se ha modelado Smart Grid. En la sección 4 se presenta el planteamiento del problema y se describe el modelo. En la Sección 5 se exponen algunos resultados esperados del modelo. Por último en las Secciones 6 y 7 se presentan las conclusiones, trabajo futuro y las referencias.

2. SMART GRID

Smart Grid es la colección de tecnologías, conceptos y metodologías, que permite a toda la cadena de electricidad (generación, transmisión, distribución y consumo) ser complementada por un ambiente integrado totalmente donde los procesos de negocio, objetivos y necesidades de todos son suplidos eficientemente (Farhangi, 2010).

Uno de los principales objetivos de la implementación de Smart Grid es brindar a todos los entes que participan en la cadena de distribución de electricidad (Distribuidores, operadores, usuario) toda la información necesaria que permita aumentar la eficiencia de los sistemas eléctricos y al mismo tiempo reducir los picos de demandas y los costos (Cecati, Mokryani, Piccolo, & Siano, 2010).

Se espera que recibiendo información de su consumo y los costos del mismo en tiempo real, el consumidor cambiará su comportamiento de consumo con el objetivo de ahorrar en sus facturas (Sianaki, Hussain, Dillon, & Tabesh, 2010)(Collier, 2010).

Pero para poder recibir esta información y tener control en tiempo real del estado del sistema es necesario la adición al sistema de dispositivos inteligentes, los cuales serán los encargados de monitorear y recopilar toda la información necesaria para permitir la optimización del uso de las redes de suministro de electricidad,

una administración total de los recursos y la toma de decisiones por parte de los usuarios que le permita autonomía sobre sus facturas (Cecati et al., 2010).

Cuando los consumidores están informados sobre el precio de su consumo de energía eléctrica, tienen más probabilidades de conservar una parte de su demanda o cambiarla para períodos en los que se tengan precios más bajos (Ajaja, 2010), por lo que se espera que la altura de los picos y la profundidad de los valles en los perfiles de demanda serán reducidos (Moshari, Yousefi, Ebrahimi, & Haghbin, 2010).

3. MODELADO DE LAS SMART GRID

La penetración de Smart Grid se ha modelado desde diferentes puntos de vista y con diferentes objetivos. A continuación se presentan diferentes aproximaciones para modelar las Smart Grid desde el punto de vista del consumidor y su comportamiento ante la entrada de este nuevo enfoque.

- Sistema para el soporte inteligente a las decisiones, este modelado es a nivel de hogar por medio del cual se busca incrementar la eficiencia del consumo de energía en las Smart Grid y asistir la respuesta de la demanda (Sianaki, Hussain, Dillon, et al., 2010).
- Modelo de optimización que permite a un consumidor adaptar su nivel de demanda horaria en respuesta al precio de la electricidad horario (Conejo, Morales, & Baringo, 2010).
- Metodología para modelar el comportamiento de los prosumidores (consumidores y productores) en las Smart Grid, con el objetivo de apoyar las decisiones de los reguladores (formuladores de políticas) y los ingenieros, especialmente para el largo plazo (Lampropoulos, Vanalme, & Kling, 2010).
- Modelo basado en agentes para simular el comportamiento de una ciudad inteligente dinámica en la infraestructura futura de las Smart Grid (Karnouskos & De Holanda, 2009).
- Modelo basado en agentes para simular mercados eléctricos reestructurados y explorar el impacto de la elasticidad del precio de la demanda de los consumidores (Thimmapuram, Kim, Botterud, & Nam, 2010).
- Marco de referencia para evaluar las metodologías de administración de la energía doméstica ante diferentes criterios, con el objetivo de comparar soluciones de administración de las Smart Grid (Bosman, Bakker, Molderink, Hurink, & Smit, 2010).
- Se utiliza la metodología Analytic Hierarchy Process (AHP) para cuantificar las preferencias de los consumidores para usar electrodomésticos en los periodos picos cuando el precio es mayor y luego se utiliza un enfoque de programación dinámica (the Knapsack algorithm) para alcanzar la solución optima para administrar los electrodomésticos (Sianaki, Hussain, & Tabesh, 2010).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Reducir los picos en la curva de demanda es uno de los principales objetivos del sector eléctrico, con la reducción de este se tendría una administración de la energía de manera más eficiente. Pero esta tarea depende en gran medida de la participación de los consumidores, pues estos son los que deben reducir su consumo o trasladarlo a horas de demanda menor (Davies, 2010), por lo que se debe alentar a estos para que comiencen a usar tecnología avanzada tal como los contadores inteligentes y otros dispositivos inteligentes (O' Malley, Wu, & Jenkins, 2010) (Saffre & Gedge, 2010).

Para que los usuarios puedan tomar las decisiones correctas y poder trasladar o cambiar su consumo, estos deben invertir dinero en la adquisición de los equipos necesarios y también deben realizar una inversión en tiempo para administrarlos, configurarlos y estar al tanto en todo momento de la información que estos brindan y así obtener beneficios y poder reducir sus tarifas de electricidad.

Los consumidores prefieren las cosas fáciles de usar, tecnologías baratas y confiables, por lo que la participación de estos no es una tarea sencilla (Erol-kantarci & Mouftah, 2010). Ellos no esperan tener que cambiar su comportamiento, pero si esperan que los dispositivos "hagan lo correcto" y sin riesgo de pérdida o costo alguno para ellos (Chassin, 2010).

Por estas razones se espera que el usuario pueda tener una reacción negativa ante la entrada de las Smart Grid y que no tenga la disposición para adoptar y contribuir con el buen uso de todas estas mejoras.

Es por esto que se desea analizar y entender el comportamiento de los usuarios con la implementación de Smart Grid en el sistema eléctrico colombiano, con el fin de evaluar qué tan viable es su implementación y en qué condiciones sería viable.

4.1 Modelo

Para analizar la problemática planteada se construyó un modelo de Dinámica de Sistemas, para analizar el comportamiento de los usuarios ante la entrada de las Smart Grid y poder definir posibles políticas para su adecuada implementación.

4.1.1 ¿Por qué Dinámica de Sistemas?

La dinámica de sistemas estudia sistemas complejos que presentan características de retroalimentación.

Permite estudiar el comportamiento de estos sistemas y evaluar y comparar posibles políticas en las cuales se plantean alternativas de sucesos futuros (Sterman, 2000).

La entrada de las Smart Grid al sistema eléctrico colombiano es un sistema complejo que posee ciclos de realimentación y en el que existen interacción entre las diferentes variables involucradas.

Por medio de la dinámica de sistemas se puede observar cómo sería el comportamiento a largo plazo de la entrada de las Smart Grid al sistema eléctrico colombiano y se pueden definir políticas por medio de las cuales se espera ver como varía dicho

comportamiento y, así, evaluar el nivel de aceptación de los usuarios.

Por otro lado, las características de este caso de aplicación con un alto componente social, determinan una dinámica continua en el tiempo por lo que hace importante que se pueda aprender sobre esta situación en particular.

Razón por la cual la utilización de simulación con dinámica de sistemas para evaluar políticas para la penetración de este nuevo enfoque, permite un mayor acercamiento a la realidad que puede ser un referente durante el proceso de toma de decisiones.

4.1.2 Hipótesis dinámica

En la Figura 2 se describe el diagrama causal del modelo de penetración de las Smart Grid. En este diagrama se pueden observar las principales variables que determinan el comportamiento del sistema. Los ciclos involucrados en el sistema son siete de balance y tres ciclos de refuerzo.

En el ciclo R1 está compuesto por: Adoptadores Medidores Inteligentes y Adopción por publicidad Boca a Boca. Este modela la forma en la que un aumento en la adopción por publicidad boca a boca provoca un aumento en el número de adoptadores de medidores inteligentes.

En el ciclo R3 se muestra como cambios en el precio del equipo, provoca cambios en el ahorro percibido.

El ciclo B1 muestra como es la actividad en la inversión en capacidad dependiendo del precio de la electricidad, y como a más capacidad el precio de la electricidad es menor.

El ciclo B2 se ve influenciado por el precio de la electricidad, pues si este incrementa la demanda se ve afectada.

En el ciclo B3 muestra que si en el sistema hay más cantidad de adoptadores potenciales, la publicidad por boca a boca aumentará, lo cual provoca que los adoptadores de medidores inteligentes tengan un aumento.

En el ciclo B4 interactúan las variables Adoptadores de medidores inteligentes y Adoptadores potenciales. En este se puede observar que a medida que aumenta el número de adoptadores de medidores inteligentes disminuyen los adoptadores potenciales y mientras los adoptadores potenciales sean mayores, el número de adoptadores aumentará.

El ciclo B5 muestra que a mayor número de adoptadores potenciales los esfuerzos por adopción por publicidad serán mayores, lo cual provoca que el número de adoptadores de medidores inteligentes sea mayor.

El ciclo B6 representa la restricción de la generación hidráulica, pues solo se puede generar si hay agua en el embalse.

El ciclo B7 muestra como los vertimientos aumentan si la cantidad del embalse es muy alta.

El ciclo B8 representa el cambio en la demanda gracias al aumento en los adoptadores de medidores inteligentes, este cambio en la demanda produce a su vez cambios en el precio de la electricidad y en el ahorro percibido por el usuario.

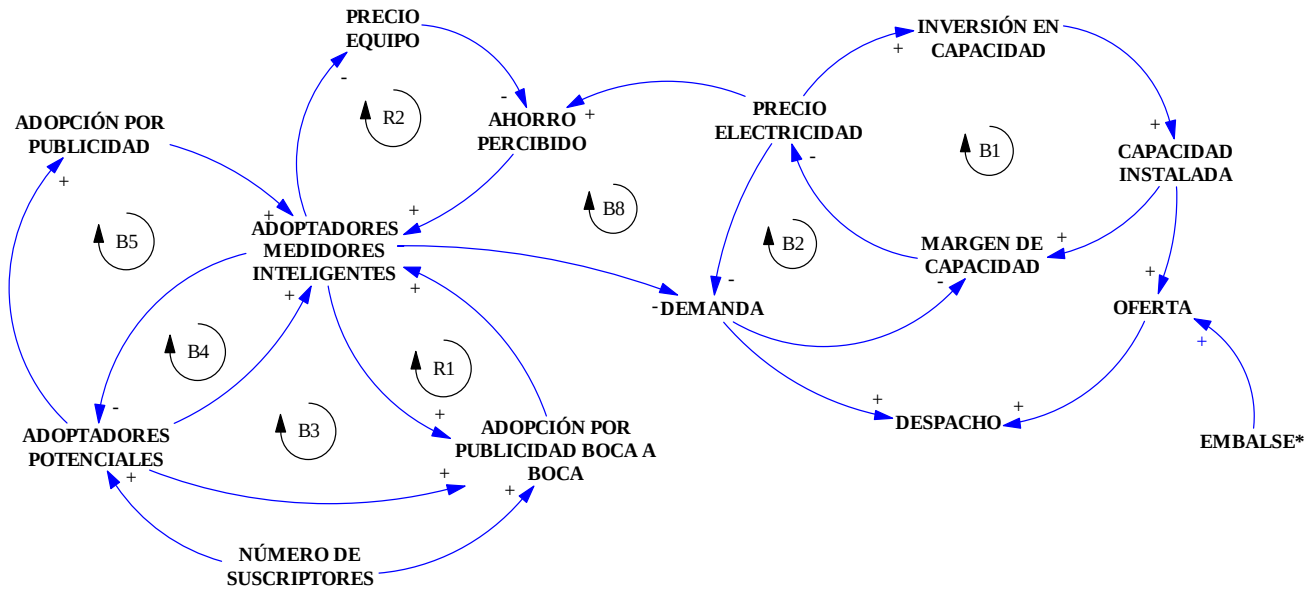


Figura 2. Diagrama causal. (Fuente: Elaboración propia)
 *Una ampliación del embalse se encuentra en la Figura .

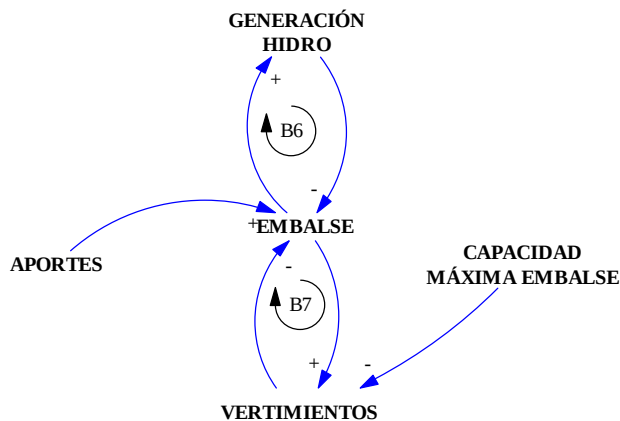


Figura 3. Diagrama causal –Embalse (Fuente: Elaboración propia)

4.1.3 Supuestos de modelo

Los supuestos y alcances del modelo son los siguientes:

- Las siguientes variables son exógenas al modelo: adopción por publicidad, adoptadores potenciales, número de suscriptores.
- El horizonte de simulación utilizado es de 20 años y el paso de tiempo de la simulación es 1 año.

- Los incentivos del gobierno tanto para las facturas como para los equipos se dan para los 20 años de la simulación.
- El submodelo actualmente simulado es el de la penetración de los medidores inteligentes.

5 RESULTADOS PRELIMINARES

Para el sub-modelo de penetración de medidores inteligentes se definieron diferentes escenarios, entre los cuales está en caso base y escenarios en los cuales se asume que el gobierno brinda subsidios tanto en los precios de los medidores inteligentes y para las facturas de electricidad de las personas que adopten la nueva tecnología.

Escenario1: Escenario Base

Este escenario carece de políticas y consta de las siguientes suposiciones:

- Cada familia posee un medidor.
- Una familia está compuesta en promedio por 3 personas
- No existe un ahorro percibido por parte de los adoptadores potenciales debido a que no hay un apoyo económico del gobierno.

En la Figura , se presenta la cantidad de adoptadores de medidores inteligentes. Se observa que el número de adoptadores de la nueva tecnología es muy poco. Esto debido a que no hay apoyo económico por parte del gobierno lo que provoca que las personas no ven un ahorro al comprar estos dispositivos.

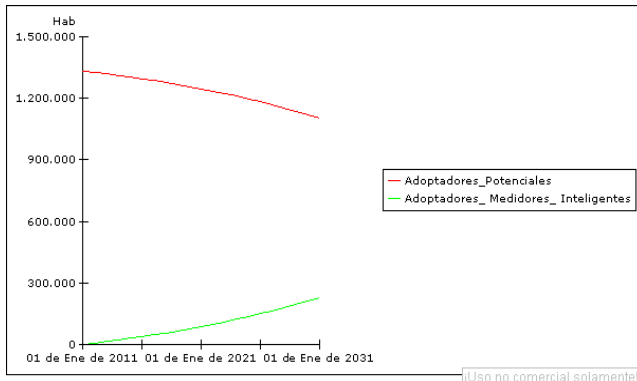


Figura 4. Comportamiento del modelo en el escenario base.
(Fuente: Elaboración propia)

Escenario 2. Escenario con descuento en las facturas de electricidad para los adoptadores de medidores inteligentes

Para este escenario se adiciona al modelo el incentivo del gobierno para que las personas decidan adoptar la nueva tecnología, pues para aquellos adoptadores de los medidores inteligentes se les dará un 25% de descuento en sus facturas de electricidad.

El comportamiento del modelo en este escenario se puede apreciar en la Figura, donde se observa la lenta adopción de la tecnología en un principio y luego un crecimiento exponencial buscando un equilibrio. Para este escenario la cantidad de adoptadores de medidores inteligentes es mucho mayor.

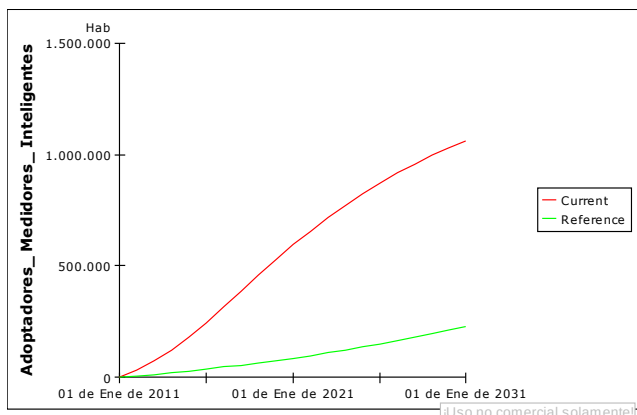


Figura 5. Comportamiento del modelo en el escenario 2 Vs. Escenario base.
(Fuente: Elaboración propia)

Escenario 3. Escenario con descuento en las facturas de electricidad para los adoptadores de medidores inteligentes y con descuento en el precio de los medidores inteligentes.

En este escenario, se plantea un descuento del 20% en las facturas de electricidad y de un 30% en el precio por medio de incentivos del gobierno. El resultado de la simulación se puede apreciar en la

Figura, en la que se puede ver que por medio de esta política la penetración de la tecnología se realiza de una forma más rápida y es viable durante el tiempo de simulación.

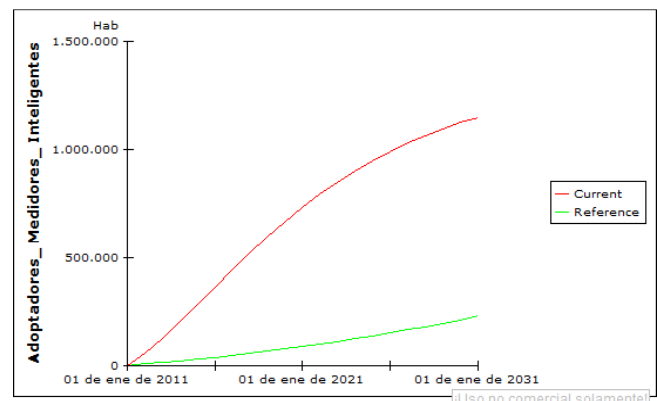


Figura 6. Comportamiento del modelo en el escenario 3 Vs. Escenario base.
(Fuente: Elaboración propia)

6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El estudio del comportamiento de los consumidores respecto a las Smart Grid es importante pues estos pasarían a ser entes activos en la cadena de suministro de electricidad y su comportamiento puede influenciar la manera como estos aportarían a la mejora del sistema.

Para que la entrada de los medidores inteligentes al país sea viable es necesaria la intervención del gobierno, ya sea por medio de incentivos para la adopción de los medidores inteligentes o por medio de políticas.

La política del descuento de un 25% en las facturas es eficiente e incrementa en gran medida la cantidad de adoptadores.

La mejor política es un descuento en las facturas de electricidad y una disminución en el precio de los medidores inteligentes, ya que presenta mayor ahorro para los usuarios lo que los alienta a obtener la nueva tecnología.

Una de las principales dificultades que se presentaron en la realización de este trabajo fue la disponibilidad de información, ya que no hay reportes para estas nuevas tecnologías.

Actualmente se está trabajando en el modelado del sistema completo, el cual involucra la parte del despacho de electricidad que une la entrada de las nuevas tecnologías con la demanda de electricidad y afecta a su vez los precios de la misma.

7 REFERENCIAS

- [1] Ajaja, A. (2010). Reinventing electric distribution. *IEEE Potentials*, 29(1), 29-31. doi:10.1109/MPOT.2009.935612
- [2] Bosman, M. G. C., Bakker, V., Molderink, A., Hurink, J. L., & Smit, G. J. M. (2010). Benchmarking set for domestic smart grid management. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT Europe*, 1-8.

- [3] Cecati, C., Mokryani, G., Piccolo, A., & Siano, P. (2010). An Overview on the Smart Grid Concept. *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 3322-3327.
- [4] Chassin, D. P. (2010). What Can the Smart Grid Do for You? And What Can You Do for the Smart Grid? *The Electricity Journal*, 23(5), 57-63. Elsevier Inc. doi:10.1016/j.tej.2010.05.001
- [5] Collier, S. E. (2010). Ten steps to a smarter grid. *IEEE Industry Applications Magazine*, 62-68.
- [6] Conejo, A. J., Morales, J. M., & Baringo, L. (2010). Real-Time Demand Response Model. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1(3), 236-242.
- [7] Davies, S. (2010). Grid looks to smart solutions. *Engineering and Technology*, (May).
- [8] Erol-kantarci, M., & Mouftah, H. T. (2010). The Impact of Smart Grid Residential Energy Management Schemes on the Carbon Footprint of the Household Electricity Consumption. *Electric Power and Energy Conference (EPEC), 2010 IEEE*.
- [9] Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(1), 18-28. doi:10.1109/MPE.2009.934876
- [10] Karnouskos, S., & De Holanda, T. N. (2009). Simulation of a Smart Grid City with Software Agents. *2009 Third UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, 424-429. Ieee. doi:10.1109/EMS.2009.53
- [11] Lampropoulos, I., Vanalme, G. M. A., & Kling, W. L. (2010). A methodology for modeling the behavior of electricity prosumers within the smart grid. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT Europe*, 1-8.
- [12] Moshari, A., Yousefi, G. R., Ebrahimi, A., & Haghbin, S. (2010). Demand-Side Behavior in the Smart Grid Environment. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT Europe*, 1-7.
- [13] O' Malley, G., Wu, J., & Jenkins, N. (2010). Technical Requirements of Smart Electric Power Distribution Networks in the UK. *Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2010 45th International*.
- [14] Saffre, F., & Gedge, R. (2010). Demand-Side Management for the Smart Grid. *Network Operations and Management Symposium Workshops (NOMS Wkps), 2010 IEEE/IFIP*, 300-303. Ieee. doi:10.1109/NOMSW.2010.5486558
- [15] Santacana, E., Husain, B., Pinnekamp, F., Halvarsson, P., Rackliffe, G., Tang, L., Feng, X. (2010). Smart grids: The next level of evolution. *ABB Review*, 463(7277), 10-15. doi:10.1038/463018a
- [16] Sianaki, O. A., Hussain, O., & Tabesh, A. R. (2010). A Knapsack Problem Approach For Achieving Efficient Energy Consumption in Smart Grid for End- users ' Life Style. *2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply, CITRES 2010*, 159-164.
- [17] Sianaki, O. A., Hussain, O., Dillon, T., & Tabesh, A. R. (2010). Intelligent Decision Support System for Including Consumers' Preferences in Residential Energy Consumption in Smart Grid. *2010 Second International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation*, 154-159. Ieee. doi:10.1109/CIMSiM.2010.84
- [18] Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: McGraw-Hill.
- [19] Thimmapuram, P. R., Kim, J., Botterud, A., & Nam, Y. (2010). Modeling and simulation of price elasticity of demand using an agent-based model. *Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2010*, 1-8. Ieee. doi:10.1109/ISGT.2010.5434739

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Análisis de los elementos que interactúan en la priorización dinámica de despacho uniproducto

Andrés Felipe
Betancourt Portela

Universidad del Valle
Estudiante de Ingeniería
Industrial

(57) 316-2596581

afbetancourt1@hotmail.com

Javier David Ramos
Galeano

Universidad del Valle
Estudiante de Ingeniería
Industrial

(57) 317-2835080

javiramos.live@hotmail.com

Fabian Alexis Rojas
Hernández

Universidad del Valle
Estudiante de Ingeniería
Industrial

(57) 317-7300716

fabianrorpm@hotmail.com

Juan Carlos Osorio
Gómez

Universidad del Valle
Profesor Asociado
Escuela de Ingeniería
Industrial y Estadística

(57)(2) 3212167 ext.117

juan.osorio@correo.univalle.edu.co

RESUMEN

La problemática relacionada con las decisiones de despachos desde los centros de distribución hacia las bodegas clientes es claramente compleja, debido a los múltiples elementos que interactúan tanto desde la perspectiva del centro de distribución como desde las necesidades e indicadores particulares de las bodegas clientes. En este trabajo, se ha desarrollado un análisis dinámico de los elementos más importantes de esta problemática, con el fin de estudiar el comportamiento de algunos de los más importantes indicadores logísticos relacionados con la situación específica. Dicho análisis ha sido realizado utilizando la dinámica de sistemas y particularmente el software Vensim, con el fin de establecer las líneas iniciales para que dicho estudio continúe.

Palabras clave

Criterios de priorización, indicadores logísticos, despacho uniproducto.

1. INTRODUCCIÓN

El dinamismo a el cual se ven enfrentadas hoy en día todas las empresas con respecto a muchas de las operaciones que intervienen en el desarrollo de sus procesos, con el fin de

responder eficaz, efectiva y eficientemente al mercado, conlleva a pensar en un incremento en la atención prestada a cada uno de los mismos. Por este motivo se hace indispensable identificar y categorizar cuáles de ellos representa un mayor aporte tanto para producción, logística y demás áreas.

En particular, el hecho de coordinar adecuadamente las decisiones referentes al despacho de productos hacia varios puntos de localización o bodegas se convierte en un operante más dentro de la logística, debido a que interrelaciona aspectos de todas las áreas tratando de encontrar una alternativa óptima que satisfaga las necesidades del cliente y de la empresa.

Una de las razones por la que una compañía no puede ser competitiva respecto a las demás, tiene que ver con las decisiones que se presentan en el día a día con el medio de transporte, con la priorización y la programación de despacho que se requiere para llevar un producto al cliente, tanto externo como interno de la organización.

El abastecimiento de materias primas o productos terminados dentro de la cadena de suministro, conlleva a decisiones gerenciales y computacionales eficientes y eficaces; al no llevarse a cabo una planificación oportuna, se generarán aumentos de inventarios, altos costos de almacenaje, altos costos de transporte, altos costos por penalización de entregas, como también reprogramaciones de órdenes de despacho y aumento del tiempo ocioso.

En la Figura 1 se ilustra el problema bajo estudio, que consiste en una planta que envía los productos terminados al centro de distribución el cual los distribuye a un grupo determinado de clientes (Bodegas) localizados en una zona de mercado o zona geográfica.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

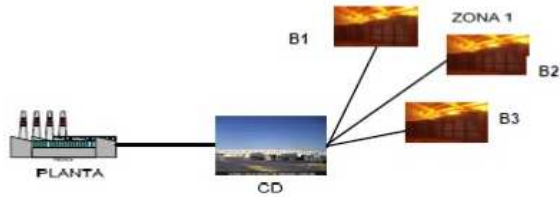


Figura 1. Representación de la cadena de abastecimiento

1.1 Factores relevantes

En la gestión de despacho de productos desde los CD hacia las bodegas, se tiene en cuenta la existencia de un número limitado de recursos (capacidad planta, bodegas y CD), esto hace que el despacho se convierta en un sistema dinámico en el reabastecimiento de productos que tienen que realizar desde la planta hasta el cliente final o bodega.

En el ámbito de operar todos los distintos factores importantes y de incluir en éstos, aspectos cuantitativos y cualitativos, se hace necesario establecer conjuntos inmersos en un macroproceso general de la priorización. Dichos conjuntos serán orientados por cada uno de los tres eslabones importantes de la cadena de abastecimiento (Planta, CD, Bodega), los cuales formarán un proceso al cual se le incluirán elementos interrelacionados que determinen el paso a seguir dentro del mismo y que dinamicen de forma autónoma el comportamiento global del conjunto. Es decir, que la terminación de cada una de las etapas va a depender de las soluciones factibles encontradas por los parámetros introducidos en el sistema.

Se hace necesario introducir en el tema a los indicadores de priorización, presentados como de gran importancia en el estudio realizado por [2], donde se muestra que para ofrecer un buen servicio al cliente es necesario tener en cuenta las relaciones existentes entre los diferentes indicadores logísticos que están basados en: el Lead Time, los inventarios (Inventario de seguridad, inventario efectivo, inventario máximo permisible), el tiempo de tránsito y la priorización en las zonas a despachar. Cabe resaltar que la forma en que se desarrolla la relación de los eslabones tiene como punto de iniciación la priorización de las bodegas a despachar.

1.2 Relación entre los factores

Existe relación entre los distintos factores relevantes en la dinámica de priorización de despacho, los cuales se unen para llegar a una decisión importante dentro de cada proceso del sistema, además de la inclusión de ésta en un proceso siguiente como parámetro de entrada. A continuación se hace un listado de los factores asociados al estudio del problema:

- o El tiempo en unidades de días
- o El acumulado de despacho del producto
- o El inventario efectivo de cada bodega
- o La demanda de la bodega
- o Camión disponible para despacho
- o Capacidad de la bodega

- o Capacidad del camión
- o Cantidad requerida (unidades) de la bodega
- o Tiempos de revisión del CD y bodega
- o Política de inventario de la Planta
- o Cantidad requerida (unidades) del CD

En la primera decisión, en la que se determina cuál o cuáles bodegas despachar primero y qué cantidad despachar hacia cada una de ellas, se tienen en cuenta distintas etapas que evalúan la influencia de los indicadores de priorización, siendo estos el insumo primordial del proceso. Paso a seguir, y basándose en la decisión anterior, se calculan los requerimientos de las bodegas en su orden de prioridad y se establece si se encuentra en su periodo de revisión para realizar la solicitud a la planta, en caso de que no existan unidades para despachar desde el CD.

Finalmente, recogiendo toda la información desarrollada en los pasos anteriores (relación entre los factores), se generan los requerimientos de la planta para fabricar productos de acuerdo también a su política de inventario. Obteniéndose la programación dentro de la planta y el despacho de camiones desde ésta hacia el CD.

La problemática del tema recae en la determinación unidireccional eficiente de las bodegas prioritarias, observándose que es en el CD donde se concentra la mayor parte de las actividades y de esta misma salen las decisiones y requisiciones para alimentar el funcionamiento conjunto del macroproceso.

La transferencia de la información entre eslabones puede considerarse también como un factor de relación que interviene con todos los demás, es así como el saber la cantidad de productos demandados conlleva a una determinación de cantidad de producción desde la planta y también las decisiones de cantidad de camiones.

Dentro de cada uno de los actores del sistema (Planta, CD y Bodegas) se realizan acciones y se toman decisiones internas a partir de los datos de entrada. Primero, se realizan cálculos de criterios estáticos de priorización para cada bodega, utilizando cualquier metodología multicriterio que permita desarrollar dicha labor, para finalmente obtener el orden de paso entre bodegas en el cual se deben despachar los productos.

Una vez conocida la priorización u orden de las bodegas a atender, se realiza el cálculo de requerimiento y despacho de productos y camiones del CD hacia las diferentes bodegas, teniendo en cuenta parámetros de restricción que se encuentran presentes dentro de la cadena de abastecimiento:

- o Cantidad total de unidades requeridas por las bodegas
- o Tiempo de revisión periódica de las bodegas y CD
- o Inventarios máximos permisibles en cada bodega y CD
- o Inventarios a la mano y efectivos tanto de las bodegas como del CD

Ya en una instancia final, se aborda el tema desde la planta, donde se determinan los periodos de revisión de la misma, el requerimiento de unidades a producir, despacho de vehículos hacia el CD y la programación de la producción. Estos elementos se encuentran representados en el diagrama causal del problema

finalmente, se realizará la simulación con el software VENSIM y se presentarán las conclusiones sobre el comportamiento del sistema.

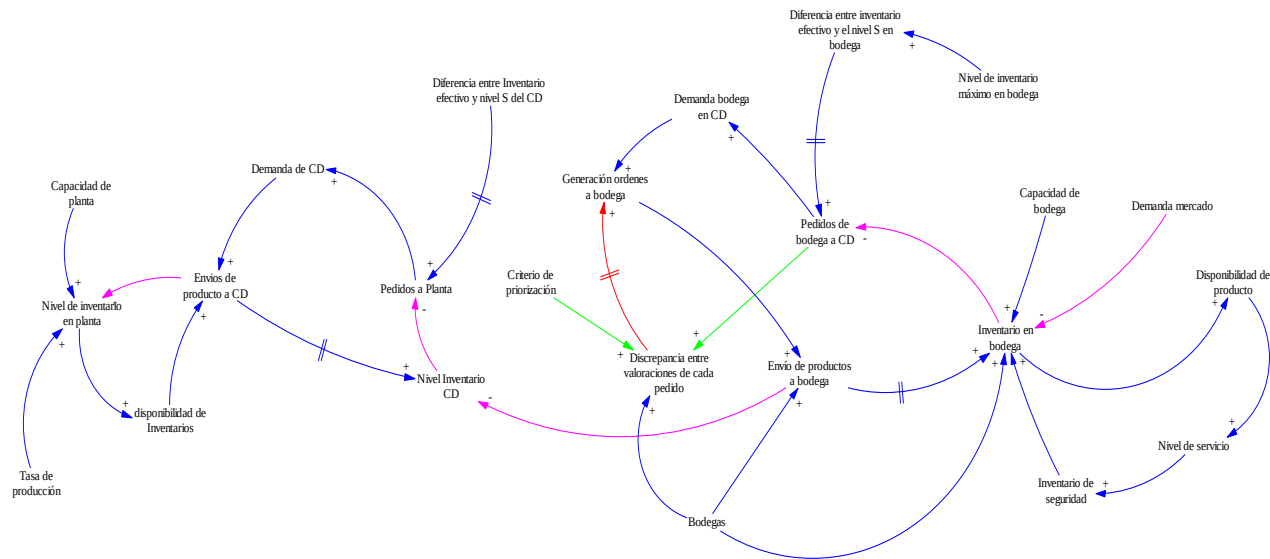


Figura 2. Diagrama causal del problema de priorización.

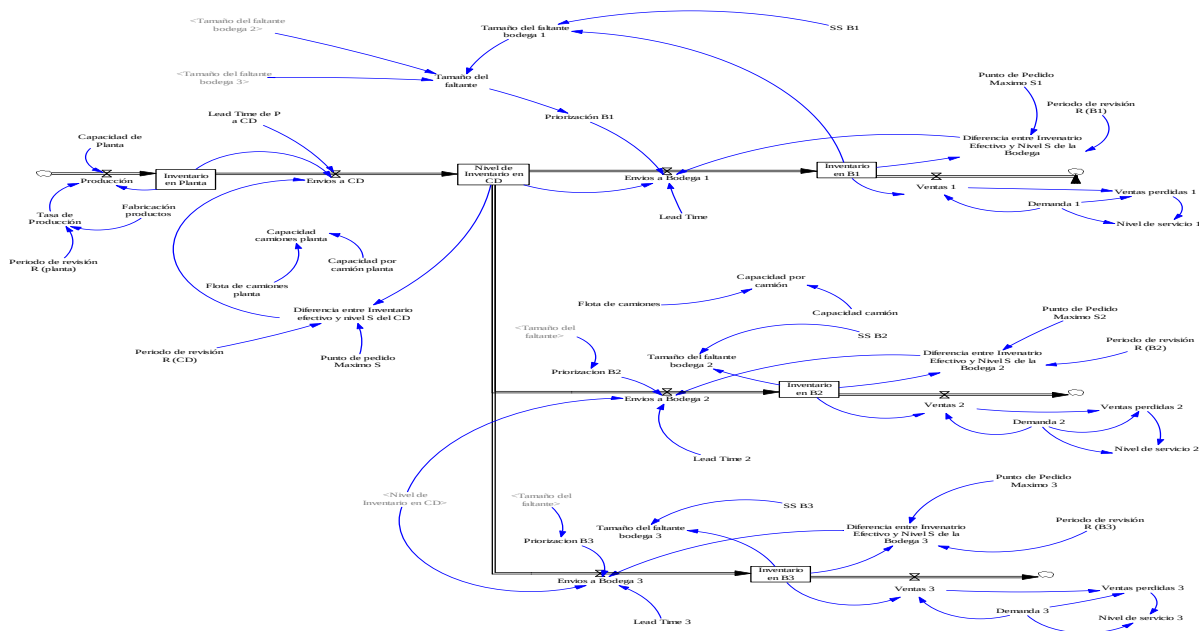


Figura 3. Diagrama de Forrester para el criterio Tamaño del Faltante

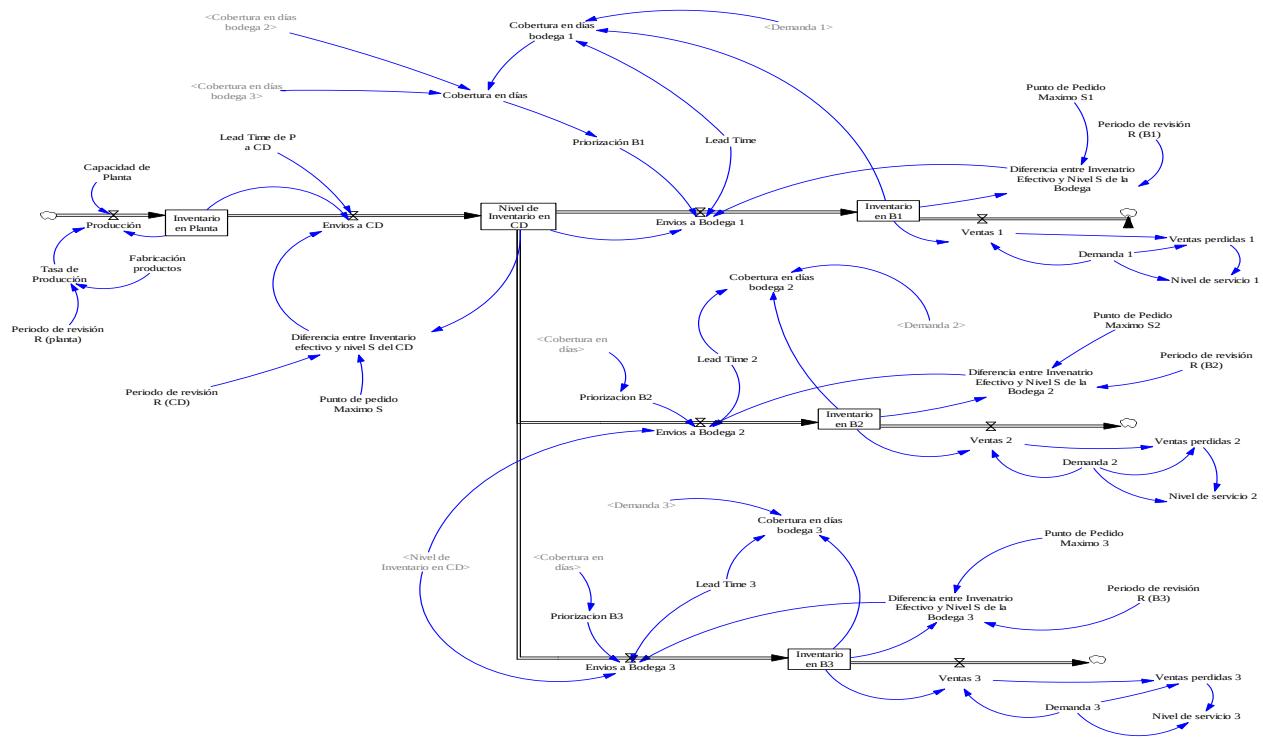


Figura 4. Diagrama de Forrester para el criterio Cobertura en días

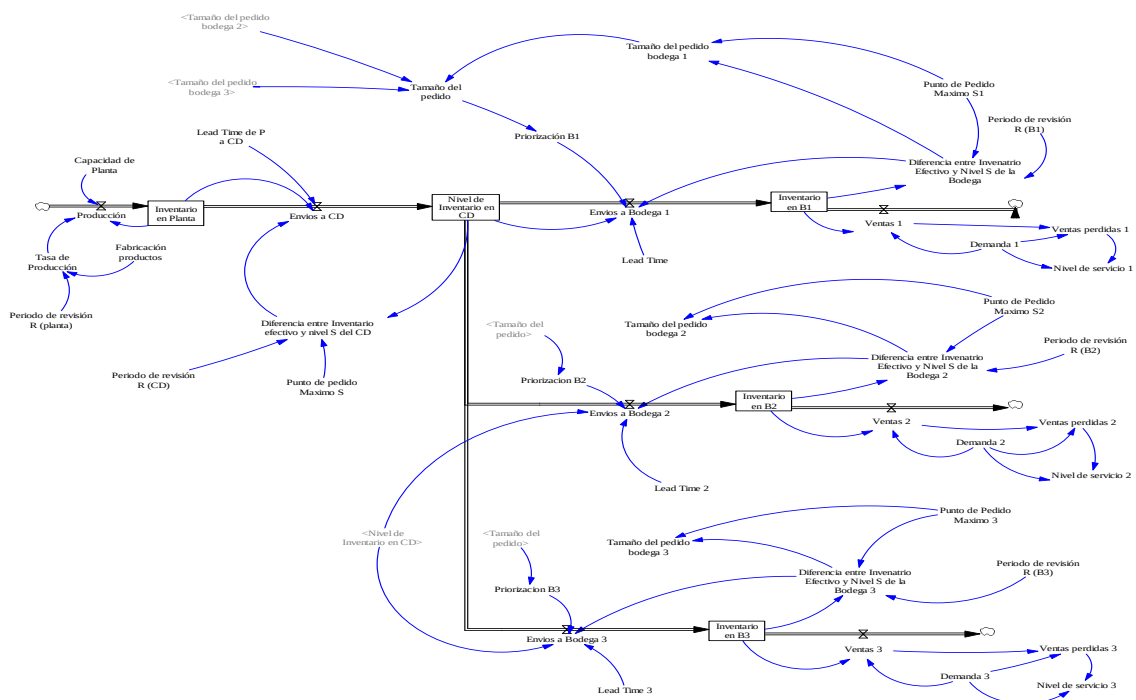


Figura 5. Diagrama de Forrester para el criterio Tamaño de pedido

2. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio corresponde al presentado por [3], en el cual el autor plantea un sistema de inventario (R, S) tanto para la planta, el CD y las bodegas, dado que se considera que aunque existe variabilidad en la demanda ésta no es muy significativa y se asume una distribución normal con media y desviación estándar para cada uno de las bodegas. Además, se plantea que la planta de fabricación se encuentra bajo un sistema pull donde se encuentra jalonado por la demanda de las bodegas. Estas características permiten desarrollar un sistema de inventario con revisión periódica “R” y donde el requerimiento de inventario no supere “S” unidades de inventario. Se consideran los siguientes parámetros y algunos supuestos para la priorización de despachos, los cuales se detallan a continuación:

- o La cadena de abastecimiento está compuesta por: una planta de producción (P), un centro de distribución (CD) y tres (3) bodegas (Bi), donde $i = 1, 2, 3$.
- o Se consideró la problemática de despacho de un solo producto P1 como caso de estudio.
- o Se consideró un horizonte de tiempo de 2 meses (60 días).
- o Se considera para los inventarios máximos y de seguridad de cada una de las bodegas un porcentaje de faltante permitido, de acuerdo al nivel de servicio que se desee presentar a los clientes.
- o Se consideró datos de LT, desde la planta hacia el CD, inventario a la mano en la planta (INVPeffect), inventario a la mano del CD (INVCDt), el inventario máximo permisible del CD (S), el inventario máximo permisible de la planta (S) y la capacidad máxima de la planta (CAPC).
- o Se consideró un sistema de política de inventarios periódica (R, S), donde “R” es el periodo de revisión considerado por la empresa mediante cálculo matemático o por juicio subjetivo, y “S” el inventario máximo permisible del producto en una bodega (Bi), el cual debe ser calculado.
- o Se determinó que el CD manejaría un sistema de política de inventarios periódico (R, S). Esto para que la planta de producción disponga de una planificación de producción de ítems a mayor tiempo. La revisión se llevará a cabo cada dos semanas.
- o Se determinó para la planta un sistema de inventario periódico (R, S), con revisión de cada dos semanas para planificar la producción del producto P1 solicitado por el requerimiento del CD.
- o Se consideró que el Lead Time desde el CD a cada una de las bodegas es de 1 día.
- o Se suponen los inventarios máximos permisibles valores constantes los cuales ya fueron calculados en el documento guía.
- o Se supone que tanto la planta de producción como el CD dispone camiones al inicio del día y una cantidad suficiente para el despacho de los pedidos requeridos.

- o Se supone al inicio de la simulación un inventario inicial para cada uno de los eslabones de la cadena de abastecimiento (planta, CD y bodegas).
- o Se supone una tasa de producción de unidades de producto P1 en la planta de fabricación, la cual está determinada por la capacidad máxima de producción que presente la organización.
- o Se generan demandas para cada una de las bodegas utilizando valores aleatorios que se comporten de acuerdo a una distribución normal. Los parámetros que se han considerado son los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Demanda promedio diaria y desviación estándar de la demanda en cada una de las bodegas

BODEGA	DEMANDA PROMEDIO (día)	DESVIACIÓN DE LA DEMANDA (día)	Límite Superior	Límite Inferior
B1	431	10	456	406
B2	306	9	329	284
B3	166	10	191	141

- o La revisión en cada uno de los eslabones de la cadena inicia transcurrido el tiempo de revisión según sea el caso.

3. EVALUACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICO

Con el fin de presentar un mejoramiento de la cadena de abastecimiento analizada, se consideraron tres criterios de priorización de despacho y se seleccionaron tres indicadores logísticos para la evaluación de cada uno.

3.1 Criterios de priorización [2]

Tamaño del faltante (tf): comprende el número de unidades contenidas por cada una de las bodegas o en caso contrario la cantidad que le haría falta para cubrir un determinado nivel de servicio durante el tiempo de transición (LT + R).

$$tf = SS - \text{Inventario} \quad (1)$$

Tamaño de pedido (tp): comprende para una bodega el porcentaje que representa el pedido respecto al inventario máximo permisible calculado para ella. Este indicador siempre tiene signo positivo y un valor por ejemplo equivalente al 100%, significa que es necesario que la bodega sea prioritaria, dado que el nivel de inventario efectivo es nulo y por lo tanto, el pedido a solicitar debe ser igual al inventario máximo permisible (S). Este criterio pretende no centrar la atención en la magnitud del pedido solicitado sino en la relación de dicha magnitud con el pedido máximo permisible calculado para la respectiva bodega.

$$tp = \frac{\text{Pedido}}{\text{Inventario máximo permisible}} \quad (2)$$

Cobertura en días (cd): comprende el número de días con que cuenta la bodega para cubrir la demanda teniendo en cuenta el tiempo de reposición de inventario o en tránsito (LT) y el inventario efectivo en cada agente de la cadena de producción. Este indicador determina que tan crítica o no es la situación de una bodega comparada con los días que se demora para reponer su inventario hasta alcanzar el inventario permisible (S). Al igual que el criterio de cobertura en unidades, un resultado negativo mayor indica menor importancia con respecto a un valor positivo que se obtenga para determinada bodega.

Este criterio busca encontrar cuales son las unidades y los días con que la bodega cuenta para satisfacer las necesidades de la demanda hasta que se reponga el inventario del producto desde el CD, antes de que exista faltante de inventario en la bodega.

$$cd = Lead\ Time - \left(\frac{Inventario}{Demanda} \right) \quad (3)$$

3.2 Indicadores

Nivel de servicio: Es la fracción de ciclos en los cuales no ocurren faltantes. El faltante de inventario ocurre cuando el inventario a la mano se reduce a cero.

$$Nivel\ de\ servicio = 1 - \left(\frac{Ventas\ perdidas}{Demanda} \right) \quad (4)$$

Rotación de inventario: Observada como el número de veces durante un periodo en que el inventario se renueva.

$$Rotación\ del\ inventario = \frac{Demanda}{Inventario\ promedio} \quad (5)$$

Utilización de la flota: Es la cantidad de camiones requeridos para atender todos los pedidos de los clientes.

$$Cantidad\ de\ camiones\ requeridos = \frac{Envíos}{Capacidad\ del\ camión} \quad (6)$$

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El modelo adaptado se simuló para 60 días arrojando los siguientes resultados (Tabla 2) para cada uno de los indicadores considerados en cada uno de los criterios de priorización analizados; se considera que la cadena simulada hace parte de una misma organización, de tal modo que el nivel de servicio se medirá total y no por bodega.

Dado que los indicadores los cuales han sido considerados para la evaluación de los criterios, han arrojado valores similares, es necesario revisar lo que los criterios de priorización indicaron con el fin de encontrar diferencias o similitudes entre los mismos.

En la Tabla 3, 4 y 5, se detallan los resultados obtenidos en cada una de las priorizaciones.

Tabla 2. Resultados obtenidos para cada uno de los criterios de priorización según los indicadores considerados

RESULTADO	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3
Nivel de servicio	0,648	0,652	0,647
Rotación de inventario PLANTA (veces en dos meses)	2,795	2,800	2,798
Rotación de inventario CD (veces en dos meses)	6,810	7,300	6,966
Rotación de inventario B1 (veces en dos meses)	16,662	14,941	15,193
Rotación de inventario B2 (veces en dos meses)	18,010	17,266	15,611
Rotación de inventario B3 (veces en dos meses)	13,337	16,082	15,292
Camiones requeridos CD	2	2	2
Camiones requeridos PLANTA	3	3	3

Tabla 3. Frecuencia de envío a cada una de las bodegas según el criterio de priorización Tamaño del Faltante

POSICIÓN DE ENVÍO	TAMAÑO DEL FALTANTE		
	BODEGA		
	B1	B2	B3
PRIMERO	24,59%	13,11%	27,87%
SEGUNDO	50,82%	22,95%	70,49%
TERCERO	24,59%	63,93%	1,64%

Tabla 4. Frecuencia de envío a cada una de las bodegas según el criterio de priorización Tamaño de Pedido

POSICIÓN DE ENVÍO	TAMAÑO DE PEDIDO		
	BODEGA		
	B1	B2	B3
PRIMERO	34,43%	21,31%	0,00%
SEGUNDO	32,79%	32,79%	93,44%
TERCERO	32,79%	45,90%	6,56%

Tabla 5. Frecuencia de envío a cada una de las bodegas según el criterio de priorización Cobertura en Días

POSICIÓN DE ENVÍO	COBERTURA EN DÍAS		
	BODEGA		
	B1	B2	B3
PRIMERO	47,54%	21,31%	9,84%
SEGUNDO	26,23%	54,10%	44,26%
TERCERO	26,23%	24,59%	45,90%

5. CONCLUSIONES

Lo obtenido en las tablas anteriores deja claro que el criterio de priorización tomado, realmente está logrando que se envíen los productos a las diferentes bodegas. Lo que significa que el envío a

cada una de ellas se realiza en distinto orden, pero a la luz de los indicadores definidos para la evaluación de la cadena de suministro, los resultados son muy parecidos unos con otros para los criterios considerados.

Es importante considerar, que aunque los resultados unicriterio presentados en este trabajo son muy similares, es fundamental revisar las decisiones que se tomarían si se consideran los criterios en conjunto y además, realizar el estudio en un sistema de mayor tamaño que permita generalizar algunos resultados y conclusiones.

6. REFERENCIAS

- [1] ARACIL, J. 1992. *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Editorial Alianza Universidad Textos Madrid.
- [2] Bravo, J.J., Orejuela, J.P., y Osorio, J.C. *Administración de recursos de distribución: Indicadores para la priorización en transporte*. Revista Estudios Generales, Universidad Icesi, 23, 102 (2007), 101-118.
- [3] López Díaz, G. 2009. *Metodología para la priorización dinámica de despacho uniproducto mediante AHP*. Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística, Universidad el Valle.
- [4] O'connor, J. & I. McDermott. 1998. *Introducción al pensamiento sistémico*, España: Urano.
- [5] Vidal Holguín, C. J. 2010. *Planeación, Optimización y Administración de Cadenas de Abastecimiento*, Universidad del Valle.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Implicaciones del mercado de carbono en el sector eléctrico español

Mónica Castañeda, Ing

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

mcastanr@unal.edu.co

Laura Cardenas, MsC

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

lmcardenasa@unal.edu.co

Carlos Franco, PhD

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

cjfranco@unal.edu.co

Isaac Dyner, PhD

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín

idyner@unal.edu.co

ABSTRACT

The main objective of this paper is to study the influence of the European Union Emissions Trading Scheme on the Spanish electricity industry using a systems dynamics model. In principle, the issue will be raised by describing the concepts and features related to the carbon market. Consequently, it will be defined the problem, the dynamic hypothesis and the main assumptions of the model; finally it will be presented the results of base scenario.

From the results it deduce that the impact of carbon trading scheme on the Spanish electricity system added with their particular energy mix leads to the predominance of gas and wind energy, as well as the displacement of coal energy. Finally, we conclude that Spain electricity sector is in a better situation than what was being developed in the level of its emissions before to implementation of the scheme.

Keywords

Carbon Market, Spanish Electricity sector, European Union Emissions Trading Scheme, wind energy, System Dynamics.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

1. INTRODUCCIÓN

Cuando los rayos solares atraviesan la atmósfera una parte de la energía es reflejada hacia el espacio y otra es retenida, la energía retenida calienta la superficie de la tierra convirtiéndola en un lugar habitable, esto ocurre debido a la presencia de Gases Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera encargados de retener los rayos solares; sin embargo, el aumento de emisiones de GEI acelera el cambio climático generando graves efectos ambientales y socioeconómicos. Es necesario agregar que el dióxido de carbono o CO₂ presenta las mayores concentraciones atmosféricas por lo tanto las emisiones de otros GEI son expresadas en términos de CO₂ equivalentes (PNUMA, 2002).

El cambio climático que experimenta el planeta ha provocado la reacción de los gobiernos en la toma de medidas encaminadas a disminuir las emisiones de GEI. Tales medidas, han permitido el surgimiento de compromisos como la Convención Mundial de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kioto. Este último acuerdo internacional estableció tres mecanismos para facilitar a las partes cumplir con la reducción de emisiones, estos mecanismos son: Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) que genera créditos CER (siglas en inglés de Reducciones Certificadas de Emisiones), mecanismo de Implementación Conjunta (IC) que genera créditos ERU (siglas en inglés de Unidades de Reducción de Emisiones), y el comercio de derechos de emisión (UNFCCC, 2005).

Este trabajo se enfoca en el comercio de derechos de emisión; a partir de este se han creado mercados de carbono como el esquema EU ETS (European Union Emission Trading System). El esquema EU ETS es el mayor mercado potencial de carbono debido a su próspero desarrollo en el comercio de derechos de emisión así como la importación de créditos basados en proyectos (Aragón, 2008). Este hecho se corrobora en la Tabla 1 que compara el volumen y valor de las transacciones efectuadas entre

el esquema EU ETS y demás mercados de carbono, en la Tabla 1 se observa que el EU ETS es el esquema de comercio de derechos de emisión que transa los mayores volúmenes y valores de permisos. Así, durante el 2009 el valor monetario de las transacciones del EU ETS respecto a los demás mercados de derechos de emisión ascendió a un 95%, igualmente el EU ETS fue responsable de un 82% del total del volumen monetario transado por créditos relacionados con los tres mecanismos del Protocolo de Kioto.

Tabla 1. Volúmenes y valores del mercado de carbono durante los años 2008 y 2009 (World Bank Institute, 2010)

	2008		2009	
	Volume (MtCO ₂ e)	Value (US\$million)	Volume (MtCO ₂ e)	Value (US\$million)
Allowances Markets				
EU ETS	3.093	100.526	6.326	118.474
NSW	31	183	34	117
CCX	69	309	41	50
RGGI	62	198	805	2.179
AAUs	23	276	155	2.003
Subtotal	3.278	101.492	7.361	122.823
Spot & Secondary Kyoto offsets				
Subtotal	1.072	26.277	1.055	17.543
Project-based Transactions				
Primary CDM	404	6.511	211	2.678
JI	25	367	26	354
Voluntary market	57	419	46	338
Subtotal	486	7.297	283	3.370
TOTAL	4.836	135.066	8.699	143.736

2. DESCRIPCIÓN DEL EU ETS Y EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL

2.1. Mercado de carbono bajo el EU ETS

El mercado de carbono funciona de la siguiente manera: El bien que se comercializa a cambio de dinero son los derechos de emisión o EUA (European Union Allowance). Un EUA confiere a su titular el derecho de emitir 1 tonelada de CO₂, el esquema EU ETS permite la equivalencia entre los créditos generados por MDL e IC, esto significa que 1 EUA=1 CER=1 ERU. Todas las emisiones de GEI de las instalaciones inmersas en el esquema EU ETS deben estar soportadas con derechos de emisión es decir EUAs, estos derechos se obtienen ya sea a través del gobierno de manera gratuita, mediante subasta o comprándole a otro participante del mercado (mercado secundario); por lo tanto, aquellas instalaciones que tengan superávit de EUAs pueden vender su excedente en el mercado, mientras que las instalaciones que presenten un déficit de EUAs pueden comprar los derechos faltantes en el mercado o pueden cambiar su tecnología para reducir sus emisiones dependiendo de cuál opción implique un menor costo de oportunidad (Comisión Europea, 2008).

En la Figura 1 se ejemplifica el funcionamiento del mercado de carbono mediante dos compañías A y B, ambas pueden emitir a la atmósfera una cantidad límite de GEI o cap, todas las emisiones deben ser soportadas con derechos de emisión o EUAs, la compañía A logra reducir sus emisiones de manera que le sobran EUAs, es decir presenta un superávit de derechos de emisión;

mientras que la compañía B aumenta sus emisiones, dado que la compañía B carece de derechos de emisión que soporten su aumento de emisiones esta compañía presenta un déficit de EUAs. Consecuentemente, las compañías recurren a una plataforma de negociación de derechos de emisión en donde pueden vender su excedente o cubrir su déficit mediante intermediarios y una contraparte central (Comisión Europea, 2008).

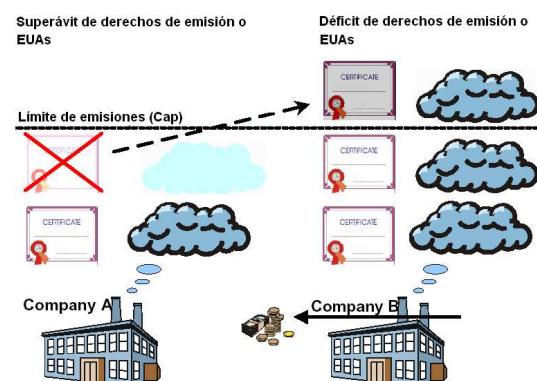


Figura 1. Funcionamiento del mercado de carbono (Global carbon, 2007)

2.2.El mercado de carbono y el sector eléctrico

Los generadores de electricidad ofertan la cantidad de energía que están dispuestos a producir a un determinado precio, este determinado precio depende de los costos de oportunidad que suponen generar electricidad para cada tecnología, con la aparición del esquema EU ETS los generadores internalizan el costo de los derechos de emisión, es decir el precio al cual están dispuestos a vender su energía es igual a su costo variable (que debería ser equivalente a su costo de oportunidad) más el precio del derecho de emisión esperado. Esto ocasiona que el coste de generación se incremente (Kirat y Ahamada, 2011). Como se muestra en la Figura 2 la curva de oferta de energía es desplazada hacia arriba pasando de O₁ a O₂ al aumentar el precio de la electricidad por la internalización del costo de los derechos de emisión.

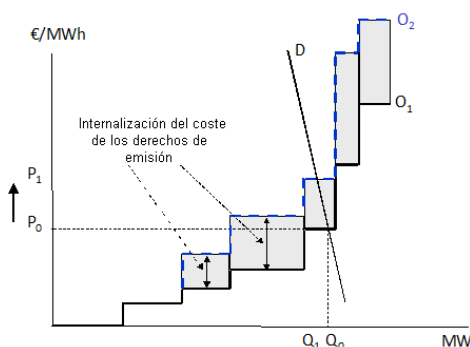


Figura 2. La internalización del costo de los derechos de emisión (Energía y sociedad, 2010)

Ahora, los generadores actúan racionalmente y en el momento de hacer sus ofertas en el mercado eléctrico esperan que:

$\text{Precio electricidad esperado} \geq \text{CV} + \text{Precio EUA} * \text{Factor de emisión}$

Donde CV es el costo variable, esto implica que el precio de venta ofertado sea:

$\text{Precio ofertado} = \text{CV} + \text{Precio EUA} * \text{Factor de emisión}$

Además, las tecnologías más contaminantes, es decir con un mayor factor de emisión ofertarán a un mayor precio; entre mayor sea el precio ofertado más probable será que la tecnología se encuentre de última en el mérito de generación o simplemente no genere.

El análisis del impacto del mercado de carbono sobre el sector eléctrico es fundamental para evaluar la eficiencia del esquema EU ETS, ya que el principal objetivo del esquema es reducir las emisiones de los sectores más contaminantes (Kirat y Ahamada, 2011). Es por ello que este trabajo está enfocado en estudiar la influencia del esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea sobre el sector eléctrico español, considerando las diferentes tecnologías de generación de electricidad a través de un modelo de dinámica de sistemas. La metodología empleada para lograr este objetivo es la dinámica de sistemas, esta consiste en un proceso de modelado iterativo que se compone de los siguientes pasos: articulación del problema, formulación de hipótesis dinámicas, formulación del modelo de simulación, validación del modelo y formulación y diseño de políticas (Stermán, 2000).

Ahora, es posible encontrar en la literatura estudios que emplean dinámica de sistemas en la investigación del mercado de carbono y el cambio climático, tal es el caso de (Ford, 2010) donde se realiza un recuento de las principales políticas para la reducción de emisiones y se resumen los resultados de modelos de dinámica de sistemas relacionados con dichas políticas específicamente el comercio de certificados verdes y el mercado de carbono en California, aunque el documento se enfoca en el análisis de "cap and dividend" una propuesta nueva del gobierno para un mercado de carbono en los Estados Unidos. Otros estudios que también emplean dinámica de sistemas son los realizados por: (Dutt y González, 2008) quienes presentan una simulación interactiva de las consecuencias de las emisiones y absorciones de CO₂ a la atmósfera; adicionalmente en (Stermán y otros, 2008) se presentan simuladores que facilitan el entendimiento sobre el cambio climático, puesto que en estudios pasados como (Stermán y Sweeney, 2007) se había evidenciado una pobre comprensión de sujetos educados de la complejidad dinámica subyacente en la reducción de las emisiones antropogénicas responsables del cambio climático, es decir un pobre entendimiento de los retardos significativos, no linealidades y retroalimentaciones presentes en el cambio climático.

3. MODELO PROPUESTO

3.1 El sistema eléctrico español y algunos supuestos del modelo

El sistema eléctrico español se divide en sistema eléctrico peninsular y sistema eléctrico insular-extra peninsular, el primero es para España como tal y el segundo es para las islas de esta

nación: Islas Canarias, Islas Baleares, Ceuta y Melilla. Este trabajo se enfoca en el mercado de carbono en el sistema eléctrico español peninsular, aún no existe una interconexión entre el sistema insular-extra peninsular y el peninsular, aunque se está construyendo la interconexión entre las islas Baleares y el sistema peninsular (REE, 2011).

Otro aspecto relevante del sistema eléctrico español es la integración del mercado eléctrico español con el mercado eléctrico de Portugal conformando el Mercado Ibérico de Electricidad o MIBEL (Consejo de reguladores del MIBEL, 2009). Por la complejidad adicional que implicaría agregar al modelo un mercado energético integrado se decidió considerar la interconexión de Portugal como una mayor demanda de electricidad.

Ahora, la escogencia de las tecnologías de generación a modelar obedeció a la mayor capacidad instalada y mayor generación, considerando además la diversidad en la oferta energética. De acuerdo a estos criterios se obtuvo que las tecnologías de generación más importantes son: Ciclo combinado de gas natural (CTCC), Eólica, Hidráulica, Carbón, "Resto de régimen especial", Nuclear, Fuel-gas (se toma como fuel-oil) y Solar (REE, 2010). Como una condición necesaria del modelo es estandarizar los costos de cada tipo de tecnología y régimen especial está compuesto por diversas tecnologías se optó por desagregar las tecnologías pertenecientes a "Resto de régimen especial" agregando la capacidad de estas a las tecnologías más grandes. De este modo las tecnologías a modelar se indican en la Figura 3:

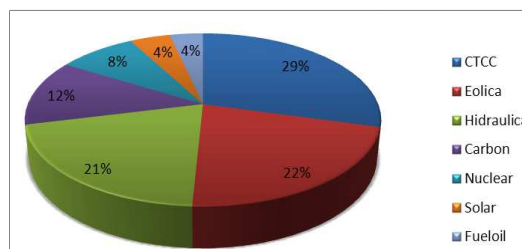


Figura 3. Potencia instalada sistema eléctrico peninsular a diciembre de 2010 (elaboración propia)

Otros supuestos del modelo son:

- La demanda de electricidad y el precio del CER son variables exógenas, no se consideran los ERU.
- Solo compran y venden EUA las tecnologías contaminantes pertenecientes al sector eléctrico Español.
- Debido a la carencia de información se supuso que la cantidad de EUA disponible para subasta a partir de 2013 será similar a la asignada para el sector eléctrico en el Plan Nacional de Asignación de España 2008-2012.
- En España la mayor potencia instalada de centrales de carbón corresponde a centrales que funcionan con carbón autóctono, por esto se tomaron los costos de este tipo de central como costos representativos de esta tecnología.

El esquema EU ETS se desarrolla en fases la primera fase fue de 2005 a 2007, un período de aprendizaje; la segunda fase de 2008 a 2012 que coincide con el primer período de compromiso del Protocolo de Kioto; la última fase comprende el período 2013 a

2020. El horizonte de tiempo del modelado corresponde a 2013-2020, se decidió modelar a partir de la tercera fase del esquema debido a que durante la segunda fase 2008-2012 la asignación de derechos de emisión anual fue fija esto ofrece un comportamiento determinístico, adicionalmente no se desarrollaron subastas (PNA 2008-2012). El paso de simulación es trimestral.

3.2. Hipótesis dinámica

En el siguiente diagrama causal las variables que se encuentran subrayadas corresponden a variables vectoriales cuyos componentes son las siete principales tecnologías a modelar

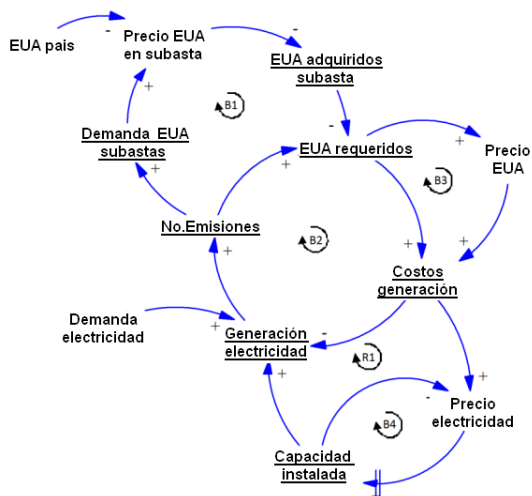


Figura 4. Diagrama causal EU ETS en el sector eléctrico (Cárdenas, 2011)

A continuación se explican los principales ciclos de realimentación:

Ciclo B1: indica que a mayor generación de electricidad se generan mayores emisiones, a mayor número de emisiones mayor demanda de EUA en subastas lo que provoca un mayor precio de EUA en subasta, por lo tanto los EUA adquiridos en subasta disminuyen y se aumentan los EUA requeridos en el mercado secundario, si aumentan los EUA requeridos en el mercado secundario aumentan los costos de generación.

Ciclo B3: se observa que un aumento de los EUA requeridos también aumenta el precio del EUA (precio del mercado secundario) aumentando el costo de las emisiones y consecuentemente el costo de generación, un incremento en los costos de generación disminuye la generación de electricidad lo que a su vez determina el número de emisiones generadas.

Ciclo R1: se deduce que un aumento en los costos de generación provoca un aumento en el precio de la electricidad dado que los generadores incluyen en su precio de venta el costo de las emisiones, ahora, un aumento del precio de la electricidad para las centrales que entren en el mérito, es decir aquellas que generen y además que su proporción de costos permita la existencia de utilidad provoca un aumento retardado de la capacidad instalada, un aumento de la capacidad instalada implica una mayor generación de electricidad y las demás relaciones causales

indicadas en el diagrama; el ciclo B4 muestra que un aumento en la capacidad instalada, implica un aumento en la oferta de electricidad lo que conlleva a una disminución del precio de la electricidad.

La estructura del modelo se desarrolla a partir de seis subsistemas: asignación de permisos, subastas de EUA, mercado secundario de EUA, costos, generación de electricidad y capacidad instalada. Los cuales interactúan entre sí definiendo la estructura del modelo y posterior comportamiento del sistema (Cárdenas, 2011). El diagrama de subsistemas es descrito detalladamente a continuación:

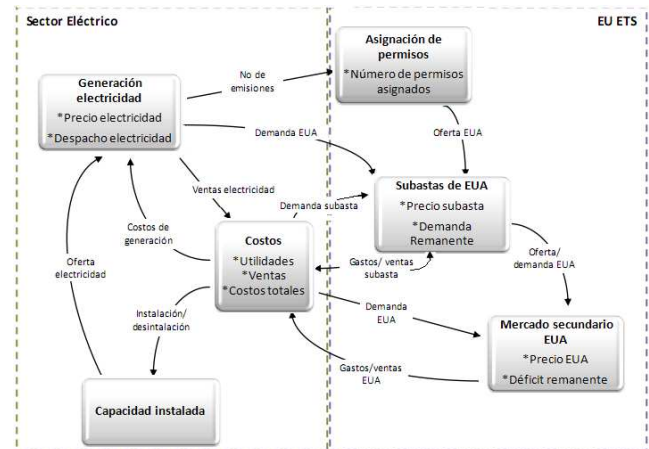


Figura 5. Diagrama de subsistemas

Asignación de permisos: en este subsistema se determina la cantidad de permisos que se asignarán cada trimestre a cada tecnología contaminante, la cantidad de permisos que se destinarán a nuevos entrantes y la cantidad de permisos que se entregará al subsistema subastas para subastar cada trimestre.

Subastas de EUA: este recibe información sobre la cantidad de derechos a subastar del subsistema asignación de permisos, del subsistema generación de electricidad recibe información indicando cuales tecnologías contaminantes que generaron tienen un déficit de EUA, es decir, aquellas tecnologías que demandarán EUA en la subasta, del subsistema de generación también se retoma el precio de la electricidad del periodo pasado junto con los costos variables proveniente del subsistema costos, el margen entre el precio de electricidad retrasado y los costos variables constituirá el precio de oferta de la tecnología para comprar en la subasta.

Mercado secundario de EUA: este subsistema recibe la oferta y la demanda de EUA proveniente del subsistema subastas de EUA, la cantidad de EUA que no se pudo comprar en subasta pasará a ser la demanda del subsistema mercado secundario y aquellos EUA que hayan sobrado pasarán a ser la oferta del subsistema mercado secundario. Igualmente, el precio al cual las tecnologías están dispuestas a comprar EUA provendrá del margen entre los costos de variables que provienen del subsistema costos y del

precio de la electricidad actual que proviene de la generación de electricidad.

Costos: este subsistema se alimenta del subsistema generación de electricidad el cual aporta la cantidad de energía a generar para determinar las ventas de electricidad, y de los gastos y ventas de EUA provenientes del subsistema subastas y del subsistema mercado secundario respectivamente.

Generación de electricidad: este subsistema recibe información del subsistema costos que aporta los costos de generación de cada tecnología para que puedan ser organizados según mérito, también recibe información del subsistema capacidad instalada lo cual permite definir la oferta de electricidad de cada tecnología

Capacidad instalada: la capacidad instalada recibe información del subsistema costos ya que la instalación y desinstalación de capacidad instalada depende de las utilidades de las tecnologías

4. RESULTADOS

4.1 Escenario Base

Los resultados obtenidos al simular el escenario base indican costos constantes para las tecnologías no contaminantes y costos variables para las tecnologías contaminantes, esto se debe a que las tecnologías contaminantes internalizan el costo de los derechos de emisión. Por otro lado, los altos costos de fuel-oil sumado a su baja capacidad instalada hacen que esta tecnología sea desplazada y no entre en el mérito de generación. Además, el carbón se encuentra en el límite de la generación y su costo determina el precio de la electricidad (ver Figura 6). Adicionalmente, el carbón aporta cada período el resto de la energía necesaria para cubrir la demanda de electricidad. Como se muestra en la Figura 7.

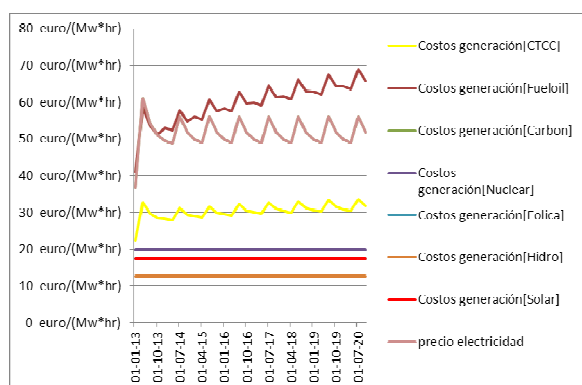


Figura 6. Costos de generación vs precio de electricidad (escenario base)

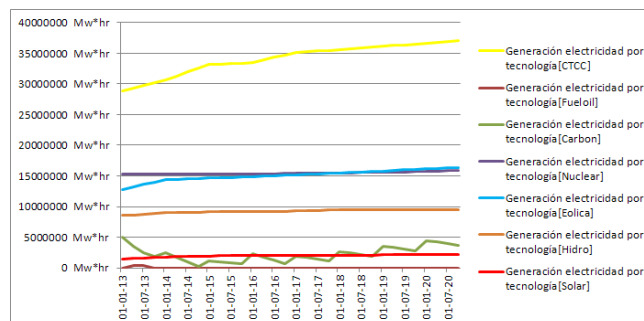


Figura 7. Generación de electricidad (escenario base)

El modelo determina el aumento o disminución de la capacidad instalada de las tecnologías considerando un porcentaje de inversión o desinversión que varía según se presenten utilidades o pérdidas, o por información disponible de centrales en construcción. Como se puede observar en la Figura 8 durante el período de simulación se obtiene un aumento de capacidad de la generación a gas, eólica, hidroeléctrica y solar, aunque el crecimiento de estas dos últimas tecnologías se estabiliza al final del periodo de simulación.

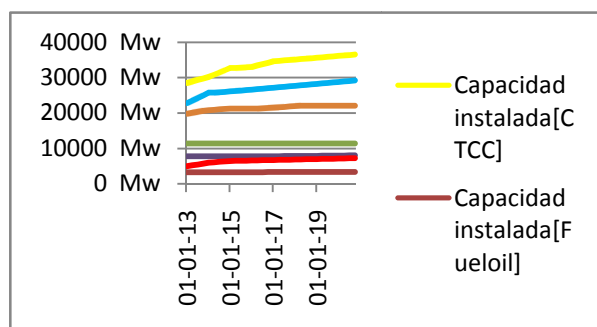


Figura 8. Capacidad Instalada (escenario base)

En la Figura 9 se muestra un comportamiento oscilatorio del precio del EUA en el mercado secundario dado que cada vez es más bajo el precio ofertado por las tecnologías contaminantes para comprar EUA, porque este precio es un margen igual al precio de electricidad menos los costos variables, estos últimos son mayores porque la mayor generación conlleva a una mayor contaminación. Ahora bien, al ser este margen más estrecho las tecnologías contaminantes no les alcanza para comprar EUA en el mercado secundario y entonces el precio del EUA cae porque ofrecen cada vez menos, un menor precio ocasiona un aumento de la demanda de EUA y el precio del EUA vuelve a subir. En el caso del precio subasta o precio del EUA en subasta este no se forma porque las subastas son canceladas debido a que la mayor parte del tiempo la oferta de EUA en subasta supera la demanda de EUA en subasta, si esto ocurre las subastas son canceladas y los derechos son distribuidos en las cuatro subastas siguientes (Reglamento UE No. 1031/2010)

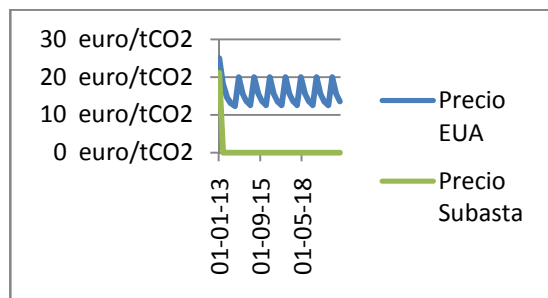


Figura 9. Precio EUA en mercado secundario y subasta (escenario base)

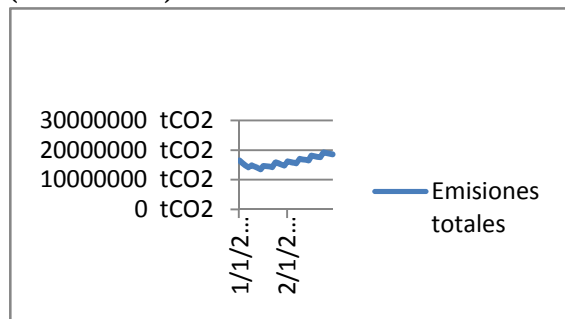


Figura 10. Emisiones totales (escenario base)

Durante el periodo de simulación las emisiones presentan un ligero crecimiento, dado que la generación a gas y a carbón aumentan por un incremento de la demanda de electricidad; en la Figura 10 las emisiones tienen un comportamiento oscilatorio debido al comportamiento también oscilatorio de la generación a carbón y por lo tanto de sus emisiones.

4.2. Resultados escenario de inversión acelerada.

En este escenario se supone una inversión de capacidad agresiva, es decir con porcentajes de inversión y desinversión no conservadores. A diferencia de los costos del escenario base se obtiene una estabilización de los costos de generación de las tecnologías contaminantes debido a la estabilización del precio del EUA durante la simulación (ver Figura 14). Inicialmente, el carbón es la última tecnología en entrar al mérito de generación hasta finales de 2014 cuando es desplazada por el gas que se convierte en la última en entrar al mérito de generación, sin embargo el gas logra nuevamente entrar en el mérito a principios de 2015 como se muestra en la Figura 11.

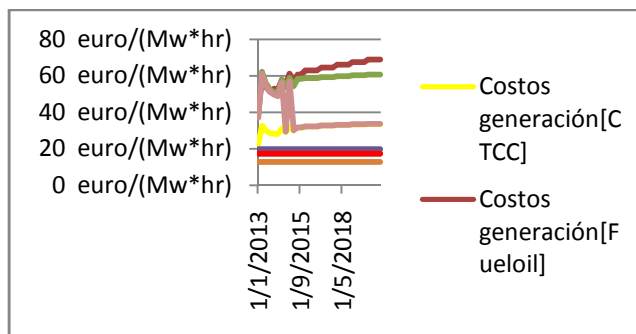


Figura 11. Costos de generación vs precio de electricidad (escenario de inversión acelerada)

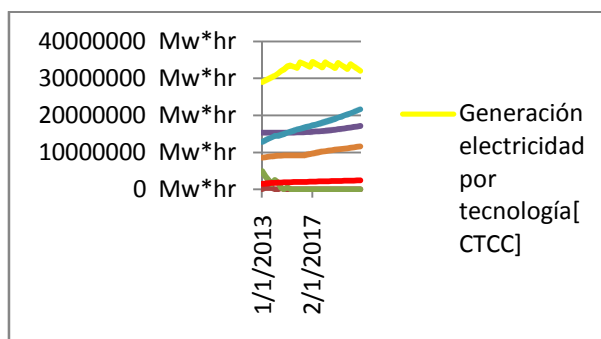


Figura 12. Generación de electricidad (escenario inversión acelerada)

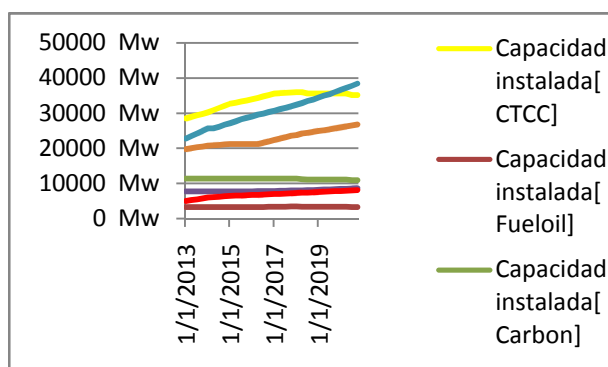


Figura 13. Capacidad Instalada (escenario inversión acelerada)

La capacidad instalada de gas aumenta inicialmente y disminuye un poco al final de la simulación como se muestra en la Figura 13, dado que el modelo conduce a una desinversión de capacidad cuando las tecnologías presentan pérdidas y a una inversión cuando presentan utilidades. Igualmente, la generación a gas disminuye porque la generación eólica crece aceleradamente incentivada por el incremento también acelerado de su capacidad instalada, además a comienzos de 2015 la generación eólica supera la nuclear (ver Figura 12). Por otro lado, en la Figura 13 también se observa una leve reducción de la capacidad instalada a carbón y un aumento de la capacidad instalada de hidroeléctrica y solar. Del carbón no se observa una desinstalación considerable de capacidad pues esta tecnología sólo genera electricidad al

comienzo de la simulación, por lo tanto no internaliza el costo de los derechos de emisión. Se puede concluir que en un escenario de inversión agresiva las tecnologías contaminantes son desplazadas por la eólica principalmente.

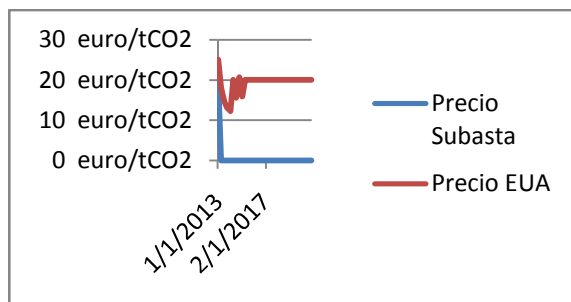


Figura 14. Precio EUA en mercado secundario y subasta (escenario inversión acelerada)

Al igual que en el escenario base el precio subasta o precio del EUA en subasta no se forma porque las subastas son canceladas debido a que la mayor parte del tiempo la oferta de EUA en subasta supera la demanda de EUA en subasta. Adicionalmente, el precio del EUA en el mercado secundario se estabiliza.

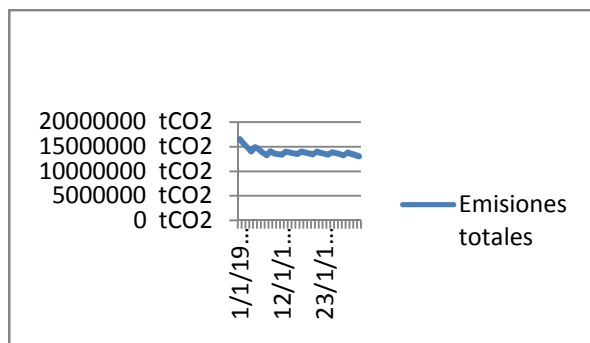


Figura 15. Emisiones totales (escenario inversión acelerada)

Al ser gas la única tecnología contaminante que genera y además hacerlo de manera decreciente se puede observar una disminución de las emisiones totales que luego se estabilizan como se enseña en la Figura 15.

5. CONCLUSIONES

Este modelo de dinámica de sistemas permite entender la estructura subyacente del sistema y por lo tanto concluir que bajo el esquema EU ETS en el mercado eléctrico español ocurre un encarecimiento del precio de la electricidad por la internalización del costo de las emisiones, sin embargo, el mismo esquema crea mayores rentabilidades para las energías bajas en emisiones de carbono especialmente la energía eólica puesto que se encuentra en la base de la generación, de este modo el aumento de renovables en la base de la generación desplaza aquellas

tecnologías más contaminantes. Adicionalmente, la generación a gas es predominante respecto al carbón en el escenario base y en el escenario de inversión acelerada el carbón no entraría en el mérito de generación, la capacidad instalada de las centrales a gas crecería y se vería mermada al final del periodo de simulación, en tanto la capacidad instalada de las energías renovables aumentaría especialmente la de la energía eólica.

El análisis de las emisiones totales de ambos escenarios permite inferir que el sector eléctrico español estaría en una mejor situación tras la implementación del esquema, pues en el escenario base las emisiones se estabilizan y en el escenario de inversión acelerada las inversiones decrecen.

Para el caso de las subastas se observa que estas son canceladas en los escenarios de simulación propuestos dado que la mayor parte del tiempo la oferta de EUA es superior a la demanda de EUA, por lo tanto la cantidad de derechos a subastar durante el periodo de simulación 2013-2020 debe ser revisada. También se sugiere revisar la política de cancelación de subastas, pues si una subasta es cancelada los derechos que se iban a subastar se distribuyen en las siguientes cuatro subastas, esto genera un efecto bola de nieve y la tendencia es que las subastas sean canceladas.

6. REFERENCIAS

- [1] Aragón Rodríguez, Hugo. El Mercado del Carbono: construcción institucional, funcionamiento y perspectivas. En: Economía Informa, Num 354, 2008, pp.1-13.
- [2] Cárdenas, L. Modelado del mercado de Carbono de la Unión Europea y sus implicaciones sobre el sector eléctrico. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2011, pp. 1-134.
- [3] Comisión Europea. Acción de la UE contra el Cambio Climático: El régimen de comercio de derechos de emisión de la UE. 2008. ISBN 978-92-79-07955-9. pp.1-28.
- [4] Consejo de reguladores del MIBEL. Descripción del funcionamiento del MIBEL. Noviembre 2009. p.13.
- [5] Dutt, V., y González, C. Human perceptions of climate change. En: Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece: System Dynamics Society, 2008. p. 47.
- [6] Energía y sociedad. La internalización del precio de los derechos de emisión. 2010. Disponible en: http://www.energiaysociedad.es/detalle_material_didactico.asp?id=40&secc=10.
- [7] Ford, A. Greening the Economy with New Markets: Lessons from System Dynamics Simulation of Energy and Environmental Markets. The 28th International Conference of the System Dynamics Society July 25 – 29, 2010.

- [8] Global Carbon. EU ETS. 2007. Disponible en: <http://www.global-carbon.com/en/services/euets.html>. [citado 3 mayo 2011]
- [10] PNA (Plan Nacional de Asignación España) 2008-2012. Julio 2006. pp.36-106.
- [11] PNUMA, CMNUCC. Para comprender el Cambio Climático: Guía Elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto. 2002.
- [12] REE (Red eléctrica de España). Notas de prensa. [En línea]. Enero 27 de 2011., Disponible en: http://www.ree.es/sala_prensa/web/notas_detalle.aspx?id_nota=202.
- [13] REE (Red eléctrica de España). Avance del informe del sistema eléctrico español 2010, pp1-152.
- [14] Reglamento (UE) No. 1031/2010 de la Comisión de 12 de noviembre de 2010 sobre el calendario, la gestión y otros aspectos de las subastas de los derechos de emisión de gases de efecto invernadero con arreglo a la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad. En: Diario Oficial de la Unión Europea
- [9] Kirat, D., y Ahamada, I. The impact of the European Union Emission Trading Scheme on the electricity- generation sector. En: Energy Economics. Enero 2011, pp. 1–30.
- [15] Sterman, J. Business Dynamics. Systems and Thinking Modeling for a Complex World. Capítulo 1. pp. 5-37. 2000.
- [16] Sterman, J., Martin, J., Jones, A., y Fiddaman, T. Interactive Simulations Enhance Understanding of Climate Change. En: Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece: System Dynamics Society, 2008.
- [17] Sterman, J. D., y Sweeney, L. Understanding Public Complacency About Climate Change. En: Climate change. 2007, vol 80, no. 3-4, pp. 213-238.
- [18] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Cuidar el clima, Guía de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. Mayo 2005. ISBN 92-9219-022-9. pp.1-50.
- [19] World Bank Institute. «State and Trends of The Carbon Market 2010» 2010.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Cooperación por percepción de sanción en el control de emisiones móviles

Jorge Andrick Parra Valencia

Universidad Autónoma de
Bucaramanga

Grupo de Investigación en
Pensamiento Sistémico

andrick.parra@gmail.com

Isaac Dyner Rezonzew

Universidad Nacional de Colombia

Grupo de Investigación en Sistemas e
Informática

idyner@yahoo.com

RESUMEN

Este artículo estudia la capacidad del mecanismo de cooperación por percepción de daño para promover acción colectiva que permita reducir las emisiones móviles de CO por encima de la normatividad vigente. Se diseñó un modelo en Dinámica de Sistemas y se realizaron análisis de sensibilidad para parámetros relacionados con el mecanismo de cooperación por percepción de daño. El modelo y el análisis de sensibilidad realizados sugieren que el número de vehículos detectados pueden promover una mayor cooperación por percepción de daño en cumplimiento de la normatividad sobre emisiones móviles.

Palabras clave

Cooperación por percepción de Castigo, Emisiones Móviles, Mecanismos.

1. INTRODUCCIÓN

El Estado Colombiano tiene la obligación Constitucional de proteger la diversidad e integridad del ambiente, fomentar la educación ambiental, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental e imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados [1]. En el marco de este mandato constitucional, el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ha definido las emisiones máximas permitidas para vehículos en Colombia [2]. El cumplimiento de estas obligaciones requiere un diseño de reglas, estrategias y

normas que promuevan la cooperación de los ciudadanos en el cumplimiento de la norma. Este artículo propone evaluar la cooperación alcanzada por percepción de daño en el cumplimiento de las normas de emisiones para vehículos en Bucaramanga. El Estado Colombiano tiene la obligación Constitucional de proteger la diversidad e integridad del ambiente, fomentar la educación ambiental, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental e imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados [1]. En el marco de este mandato constitucional, el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ha definido las emisiones máximas permitidas para vehículos en Colombia [2].

El control de emisiones móviles es problemático por el impacto que la contaminación generada por los emisores tiene sobre la salud humana. La contaminación generada por los vehículos que superan las normas de emisiones móviles tiene efectos en la salud tales como incremento en el riesgo de cáncer, asma, inflamación pulmonar entre otros [3]. La Figura 1 presenta los datos de control de emisiones para Bucaramanga.

El cumplimiento de estas obligaciones requiere un diseño de reglas, estrategias y normas que promuevan la cooperación de los ciudadanos en el cumplimiento de la norma. Este artículo propone evaluar la cooperación alcanzada por percepción de daño en el cumplimiento de las normas de emisiones para vehículos en Bucaramanga.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

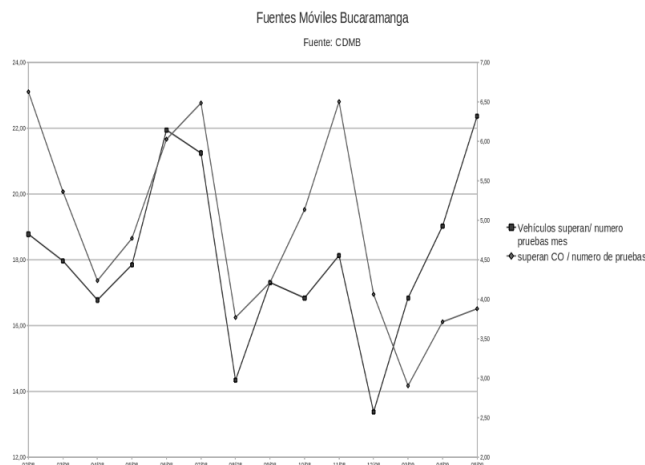


Figura 1: Datos Emisiones Móviles en Bucaramanga. Fuente: [4].

La normatividad para el control de emisiones móviles constituye una institución diseñada para enfrentar los efectos negativos de las emisiones móviles por encima de la norma. No obstante, la Figura 1 permite cuestionar la efectividad de dicha normatividad para controlar las emisiones por encima de lo estipulado en la norma. Esta situación permite cuestionar si la normatividad de emisiones móviles fomenta la cooperación en la reducción del número de infractores. No obstante, los individuos pueden decidir cooperar para enfrentar los dilemas sociales. Es posible entonces evaluar la capacidad de promoción de la cooperación de la normatividad de emisiones móviles.

Las investigaciones sobre cómo las instituciones favorecen o desfavorecen la cooperación han recibido un impulso notable en los últimos años [5]. La investigación en el área se encuentra garantizada debido a la importancia que tiene para los grupos humanos la cooperación en la solución de los conflictos entre la racionalidad individual y el bienestar colectivo [6] y por las implicaciones prácticas que dicho conocimiento tiene en la solución de crisis ambientales, energéticas y sociales. La teoría no cooperativa de dilemas sociales supone que la cooperación no aparece entre individuos egoístas maximizadores de su utilidad individual [7,8,9,10]. Si todos los individuos persiguen su interés particular en este tipo de situaciones de interdependencia, reducirán todos la utilidad obtenida y producirán un deterioro del bienestar general. Más recientemente, se ha sugerido, desde la teoría de cooperación de dilemas sociales de pequeña escala, que los individuos pueden cooperar siempre que tengan la posibilidad comunicarse frente a frente [11]. Los individuos pueden alcanzar la mejor utilidad para ellos y para el grupo siempre que puedan cooperar y superar así el dilema social [11].

1.1 Dilemas Sociales

La contaminación del aire por emisiones móviles puede ser asumida como un dilema social [12,13,14]. Los dilemas sociales ocurren en situaciones de interdependencia en las que los individuos enfrentan incentivos de corto plazo que los llevan a escoger acciones individualistas, cuando podrían generar acuerdos para cooperar y obtener los mayores pagos tanto para los individuos como para el grupo [6]. La solución que un grupo pueda por salir por sí mismo de un dilema social implica definir un esquema para que el grupo gane la confianza necesaria para

decidir cooperar [15]. Los dilemas sociales, entendidos como el conflicto entre una racionalidad basada en los supuestos del modelo de elección racional y el bienestar general, ofrecen variedad de situaciones en las que los recursos comunes pueden sufrir congestión, contaminación y sobre explotación y los bienes públicos pudieran no recibir la provisión suficiente [6].

Las investigaciones sobre cómo las instituciones favorecen o desfavorecen la cooperación han recibido un impulso notable en los últimos años [5]. La investigación en el área ha recibido impulso en los últimos 10 años debido a la importancia que tiene para los grupos humanos la cooperación en la solución de los conflictos entre la racionalidad individual y el bienestar colectivo [6] y por las implicaciones prácticas que dicho conocimiento tiene en la solución de crisis ambientales, energéticas y sociales. La teoría no cooperativa de dilemas sociales supone que la cooperación no aparece entre individuos egoístas maximizadores de su utilidad individual [7,8,9,10]. Si todos los individuos persiguen su interés particular en este tipo de situaciones de interdependencia, reducirán todos la utilidad obtenida y producirán un deterioro del bienestar general. Más recientemente, se ha sugerido, desde la teoría de cooperación de dilemas sociales de pequeña escala, que los individuos pueden cooperar siempre que tengan la posibilidad comunicarse frente a frente [11]. Los individuos pueden alcanzar la mejor utilidad para ellos y para el grupo siempre que puedan cooperar y superar así el dilema social [11]. A continuación se presenta la investigación sobre dilemas sociales, distinguiendo entre los dilemas sociales de pequeña y gran escala.

1.2 Mecanismo de Cooperación por Percepción de Daño

Los individuos pueden decidir cooperar si tienen una percepción de que su comportamiento no cooperativo puede ser castigado. Por medio de la percepción de daño, los individuos pueden cambiar sus decisiones, siempre que la probabilidad de detección sea alta [16].

Los infractores por emisiones móviles podrían decidir cooperar siempre que tuvieran una percepción de daño sobre los efectos que el no cooperar supone para ellos mismos.

1.3 ¿Puede el mecanismo de cooperación por percepción de daño mejorar el desempeño en el cumplimiento de la normatividad de emisiones móviles?

Este artículo propone así evaluar si la configuración actual de la normatividad para emisiones móviles puede mejorar la cooperación por percepción de daño, para lo que se utilizará un modelo desarrollado siguiendo los lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas.

2. MÉTODO

Los pasos aplicados para la evaluación de la capacidad del mecanismo de cooperación por percepción de daño son:

- Articulación del Problema como un Dilema Social.
- Desarrollo de una hipótesis dinámica que explique la causa del problema.
- Construcción de un modelo de simulación por computador.

- Evaluación de las implicaciones dinámicas del mecanismo en el dilema modelado mediante la simulación del modelo desarrollado.

Estos pasos se desarrollaron como adaptación de los lineamientos metodológicos de la Dinámica de Sistemas [17,18] a la evaluación de mecanismos para dilemas sociales [19].

3. RESULTADOS

A continuación se presenta el modelo diseñado y el estudio de sensibilidad realizado.

3.1 Modelo

El modelo representa la dinámica de las emisiones por fuentes móviles. Se asumen 3 niveles: autos menores de 5 años, autos para reparar y autos reparados. Los vehículos para reparar son los responsables de las emisiones por encima de la normatividad de emisiones para fuentes móviles. Con base en la probabilidad de detección, se detectan vehículos para reparar que superan la norma de emisiones de CO. Estos vehículos infractores se les otorga un plazo para cumplir la norma, de lo contrario se les aplica un comparendo. Los vehículos para reparar podrían ser reparados siempre que sus dueños perciban que suficientes vehículos son detectados y sancionados. La reparación como cooperación constituye el mecanismo de cooperación por percepción de daño. La Figura 2 presenta el modelo diseñado.

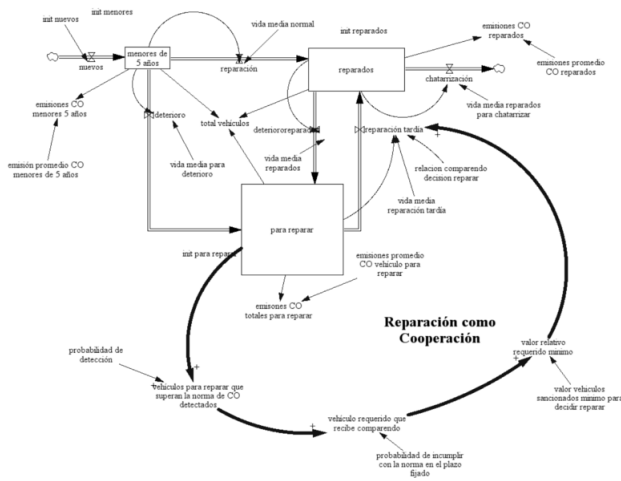


Figura 2: Modelo para la evaluación de la cooperación por percepción de daño en el control de la emisión de CO en fuentes móviles.

3.2 Análisis de Sensibilidad

Se realizaron 2 ejercicios de análisis de sensibilidad. El primero evaluó la sensibilidad para el parámetro vehículos sancionados mínimo para decidir reparar en el rango de valores entre 80 y 200. Se realizaron 200 simulaciones utilizando una distribución de probabilidad uniforme. Las Figuras 3, 4, 5 presentan los resultados del análisis realizado.

La Figura 3 ilustra el comportamiento para las emisiones de CO para una variación uniforme del parámetro vehículos sancionados mínimos para decidir reparar. Con una probabilidad del 95% se reducen las emisiones de CO.

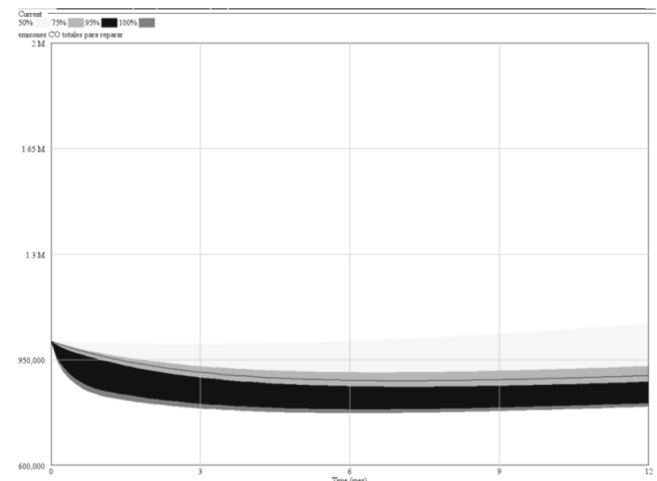


Figura 3: Análisis de Sensibilidad 1 para las Emisiones de CO por Vehículos para Reparar.

La Figura 4 ilustra el comportamiento para vehículos para reparar consecuencia de una variación uniforme del parámetro vehículos sancionados mínimos para decidir reparar. Con una probabilidad del 95% se reduce el número de vehículos para reparar responsables de las emisiones por encima de la norma entre 2350 y 2650.

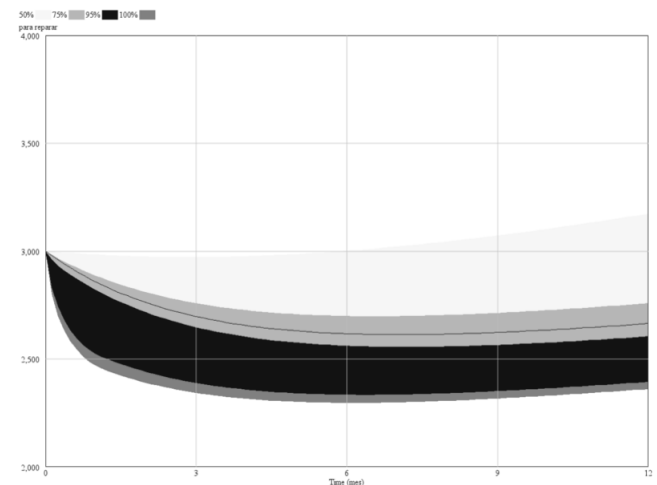


Figura 4: Análisis de Sensibilidad 1 para Vehículos para Reparar.

La Figura 5 ilustra el comportamiento para vehículos reparados consecuencia de una variación uniforme del parámetro vehículos sancionados mínimos para decidir reparar. Con una probabilidad del 95% aumenta hasta 8500 el número de vehículos reparados.

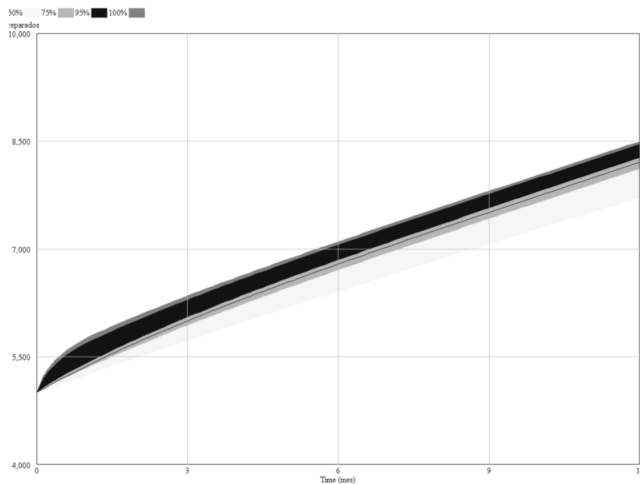


Figura 5: Análisis de Sensibilidad 1 para Vehículos Reparados.

El segundo evaluó la sensibilidad para el parámetro probabilidad de detección de infractores en el rango de valores entre 0.02 y 0.25. Se realizaron 200 simulaciones utilizando una distribución de probabilidad uniforme. Las Figuras 6, 7, 8 presentan los resultados del análisis realizado.

La Figura 6 ilustra el comportamiento para las emisiones de CO para una variación uniforme del parámetro probabilidad de detección de infractores. Este análisis supone que la probabilidad de detección integra mayor variabilidad e incertidumbre al modelo, lo cual supone que la por sí sólo este parámetro no es capaz de mejorar la cooperación.

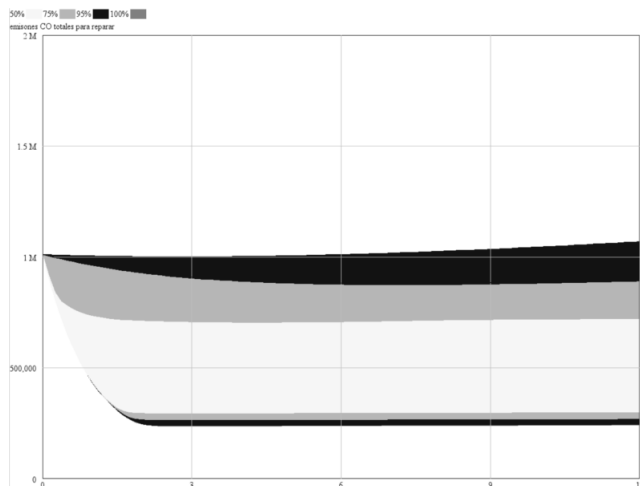


Figura 6: Análisis de Sensibilidad 2 para las Emisiones de CO por Vehículos para Reparar.

La Figura 7 ilustra el comportamiento para vehículos para reparar consecuencia de una variación uniforme del parámetro probabilidad de detección de infractores. La variabilidad del comportamiento supone que no es por sí sólo suficiente para promover cooperación.

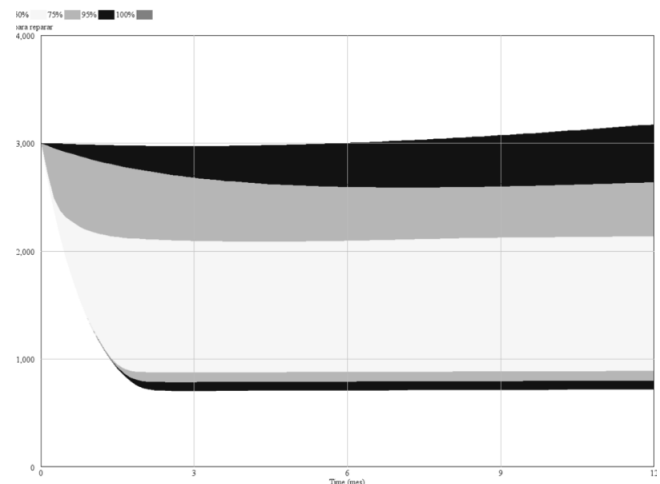


Figura 7: Análisis de Sensibilidad 2 para Vehículos para Reparar.

La Figura 8 ilustra el comportamiento para vehículos reparados consecuencia de una variación uniforme del parámetro probabilidad de detección de infractores. La variabilidad del comportamiento se explica por la falta de efectividad del parámetro por sí solo para promover cooperación que permita mejorar el número de vehículos reparados.

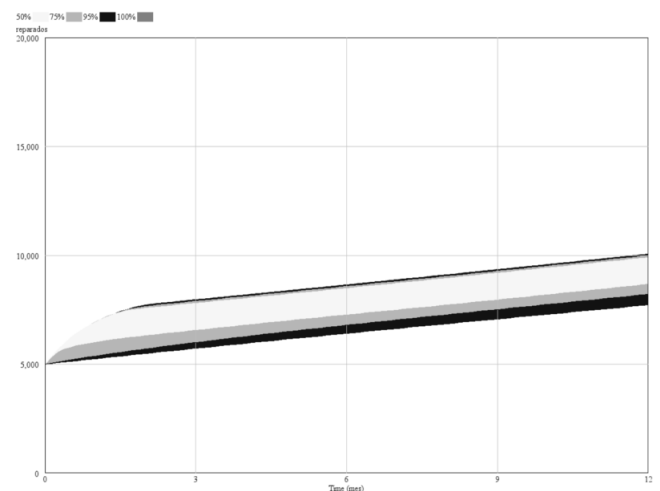


Figura 8: Análisis de Sensibilidad 2 para Vehículos Reparados.

4. DISCUSIÓN

Se diseñó un modelo de simulación en Dinámica de Sistemas que representa la dinámica de las emisiones de vehículos con base en su edad. Se realizaron análisis de sensibilidad para los parámetros vehículos sancionados mínimos para decidir reparar y probabilidad de detección de infractores. Los resultados suponen que el número de vehículos sancionados tienen un efecto más efectivo y estable sobre la cooperación en la reparación de los vehículos emisores de CO por encima de la norma. Este resultado sugiere que la probabilidad de detección no es suficiente por sí sola para promover cooperación por percepción de daño.

Estos resultados son consistentes con [19] en cuanto a la posibilidad de la evaluación de mecanismos de cooperación en dilemas sociales utilizando Dinámica de Sistemas. El mecanismo de cooperación por percepción de daño propuesto ha sido referido en la literatura por [16].

5. CONCLUSIÓN

El modelo y el análisis de sensibilidad presentado sugieren que el número de vehículos detectados pueden promover una mayor cooperación por percepción de daño en cumplimiento de la normatividad sobre emisiones móviles.

6. REFERENCIAS

- [1] Asamblea Constituyente. (1991). Constitución política de Colombia. *Imprenta Nacional, Santa Fe de Bogotá*.
- [2] Resolución 910 (2008). Resolución 910 de 2008.
- [3] Mauderly, J. (1994). Toxicological and epidemiological evidence for health risks from inhaled engine emissions. *Environmental health perspectives*, 102(Suppl 4), 165.
- [4] Datos Control Emisiones CDMB (2010). Datos de control de emisiones fuentes móviles.
- [5] Ostrom, E., Dietz, T., Dolsak, N., Stern, P., Stonich, S., et al. (2002). *The drama of the commons*. National Research Council.
- [6] Kollock, P. (1998). Social dilemmas: The anatomy of cooperation. *Annual Review of Sociology*, 24(1), 183–214.
- [7] Von Neumann, J., Morgenstern, O., Kuhn, H., & Rubinstein, A. (1953). *Theory of games and economic behavior*. Princeton university press Princeton, NJ.
- [8] Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. The population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality. *Science (New York, NY)*, 162(859), 1243.
- [9] Luce, R., Raiffa, H., & Teichmann, T. (1958). Games and [1]decisions. *Physics Today*, 11, 33.
- [10] Olson, M. (1971). The logic of collective action: Public goods and the theory of groups. Harvard University Press.
- [11] Ostrom, E. (2000). A behavioral approach to the rational choice theory of collective action. In *Polycentric games and institutions: readings from the Workshop in Political Theory and Policy Analysis*, (pp. 472). University of Michigan Press.
- [12] Osbaldiston, R. & Sheldon, K. (2002). Social dilemmas and sustainability: promoting peoples' motivation to" cooperate with the future. *Psychology of sustainable development*, 37–58.
- [13] Stern, P. (1992). Psychological dimensions of global environmental change. *Annual review of psychology*, 43(1), 269–302.
- [14] Cameron, L., Brown, P., & Chapman, J. (1998). Social value orientations and decisions to take proenvironmental action1. *Journal of Applied Social Psychology*, 28(8), 675–697.
- [15] Ostrom, E. & Walker, J. (2005). Trust and reciprocity: Interdisciplinary lessons from experimental research. Russell Sage Foundation Publications.
- [16] Schelling, T. (1958). The strategy of conflict. Prospectus for a reorientation of game theory. *Journal of Conflict Resolution*, 2(3), 203.
- [17] Sterman, J. (2000). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world with CD-ROM. Irwin/McGraw-Hill.
- [18] Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT press Cambridge, MA.
- [19] Parra, J. (2010). *Mecanismo de Cooperación en Dilemas Sociales de Recurso Agotable de Gran Escala*. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia. Doctorado en Ingeniería Área Sistemas.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Desarrollando competencias en la toma de decisiones con dinámica de sistemas: una experiencia de aula

Andrade Sosa, Hugo H

Universidad Industrial de Santander

Bucaramanga

handrade@uis.edu.co

Maestre Góngora, Gina P

Universidad Cooperativa de Colombia

Bucaramanga

gina.maestre@campusucc.edu.co

López Molina, Giovanni

Universidad Industrial de Santander

Bucaramanga

glopez@simon.uis.edu.co

RESUMEN¹

Este artículo presenta la experiencia de aula desarrollada en la Universidad Industrial de Santander-UIS, Universidad Cooperativa de Colombia-UCC y la Universidad del Magdalena-UNIMAG en la cual a través del uso de un ambiente virtual de aprendizaje PESCO (compuesto por un micromundo de simulación, juego en teléfonos celulares e internet) se pretende identificar el aporte derivado del uso de este en el desarrollo de competencias de toma de decisiones a través del aprendizaje de dinámica de sistemas y con dinámica de sistemas. Este ambiente toma como base el contexto de un sistema productivo de peces en el cual el estudiante a través de la interacción con el aprende y gestiona el sistema productivo que se experimenta en el ambiente virtual..

Palabras Clave

Dinámica de Sistemas, Ambiente Virtual, Educación, Competencias, Toma de Decisiones

1. INTRODUCCIÓN

El grupo SIMON de investigaciones ha trabajado en los últimos 20 años en la integración de la Dinámica de Sistemas a la Educación.

Es así como se han formulado propuestas conceptuales, metodológicas y se han diseñado útiles informáticos que han facilitado dicha integración. Algunos de los resultados de los anteriores esfuerzos se evidencian en los encuentros nacionales y congresos latinoamericanos de DS en los cuales se han presentado los trabajos tales como [8]- [8] y dentro de los intereses investigativos del grupo se encuentran como puede la dinámica de sistemas contribuir la dinámica de sistemas a la toma de decisiones soportadas en la explicación científica de un fenómeno.

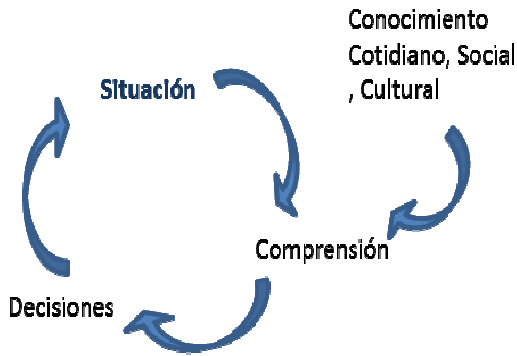
Se aprecia que la comprensión de una situación presente en un contexto nos conlleva a tomar decisiones, por lo general regida por los modelos mentales predominantes que surgen de la cotidianidad, lo social y lo cultural, lo cual a menudo no es suficiente para comprender situaciones con comportamientos contraintuitivos y en donde se esperaría que el conocimiento científico, generalmente adquirido en la formación básica o universitaria, aporte a la comprensión de la situación y a la toma de decisiones. Dado lo anterior es necesario redefinir el aprendizaje de los fenómenos contextualizando con situaciones reales, asociándolo a la toma de decisiones en la cotidianidad.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

¹ Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia y de la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Bucaramanga; en el marco del Noveno Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Bogotá 2011.



Este artículo en particular presenta un ambiente virtual en el que se busca identificar los aportes de los ambientes virtuales de aprendizaje¹⁴ que integran la lúdica y diversas tecnologías como el modelado y simulación con dinámica de sistemas, un juego serio¹⁵ en teléfonos celulares y las tecnologías web; para el desarrollo de competencias de toma de decisiones basadas en el conocimiento, en el marco de un curso en el que se promueve el aprendizaje de la dinámica de sistemas y con dinámica de sistemas.

Esta experiencia se desarrolló con estudiantes de ingeniería de sistemas en tres universidades, Universidad Industrial de Santander, Universidad Cooperativa de Colombia- Sede Bucaramanga y la Universidad del Magdalena, en el marco de las actividades de las asignaturas de Modelado estructural, Modelación I y Dinámica de Sistemas respectivamente, en las cuales se promueve el aprendizaje, como lenguaje de modelado y simulación, de la Dinámica de Sistemas usando el software EVOLUCION [9]. Los estudiantes participantes, al iniciar la experiencia, tiene una formación matemática propia de los programas de ingeniería, con conocimiento básico del lenguaje de la DS, con capacidad de leer, comprender y simular modelos que describen fenómenos complejos y la competencia de desarrollar modelos de poca complejidad usando los principios y útiles propios de la DS.

Se pretende que los estudiantes a través del estudio, la experimentación simulada con modelos de dinámica de sistemas y la vivencia de una experiencia virtual, que recrean un sistema de producción y venta de peces, desarrollen competencias en la toma de decisiones basadas en el conocimiento en escenarios de incertidumbre.

A continuación se presenta la descripción del ambiente virtual integrado por un juego en un celular, un sitio web y un micromundo de simulación, se detalla cada uno de ellos y como se relacionan entre sí para comprender la dinámica general y el propósito de cada elemento dentro de la experiencia. Luego se describe como se desarrolló la experiencia en el aula, esbozando

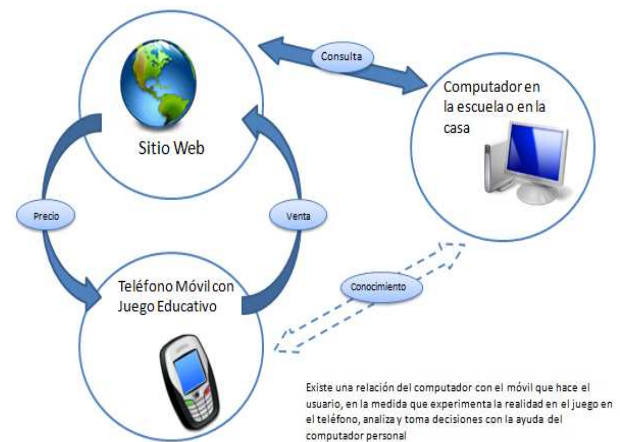
¹⁴ Se asume como un útil informático que basado en conocimiento tiene la virtud de explicar y recrear el fenómeno en consideración, facilitándole al aprendiz experiencias de aprendizaje vivenciando situaciones bajo escenarios posibles o hipotéticos. .

¹⁵ Aprovechan las características de los juegos por computador para involucrar a los usuarios en el desarrollo de conocimientos y habilidades para un propósito específico de formación.

las etapas y el propósito de las mismas. Posteriormente se exponen algunos resultados y observaciones de la experiencia, analizando los logros e identificando las dificultades presentadas.

2. DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE VIRTUAL

Es un ambiente virtual que integra diversas herramientas software como los son los teléfonos celulares, el sitio web y los micromundos de simulación con Dinámica de Sistemas (en el PC), los cuales interactúan entre sí para promover procesos de aprendizajes y aportar al desarrollo de competencias relacionadas con la toma de decisiones [12]. La dinámica de este ambiente virtual se describe en la Figura 1, Ambiente virtual de aprendizaje, sobre el cual se ha desarrollado una primera versión que asume como caso para su desarrollo en el contexto de un sistema de producción y venta de peces en el cual se pretende que el estudiante a través de estas herramientas aprenda viviendo la experiencia de gestionar el sistema.



Fuente: Ambiente software integrado por un juego para teléfonos móviles, un sitio web y una aplicación para computador personal, para el aprendizaje y toma de decisiones¹⁶

Figura 1. Ambiente virtual de aprendizaje

2.1 Micromundo de Simulación

El investigador Seymour Papert, especialista en educación e inteligencia artificial, acuñó el término “Micromundo” a fines de los años 70, para definir un ámbito informático para los niños, en el cual podían programar el entorno, ver como respondía y obtener su propia comprensión de los principios de las relaciones matemáticas. Poco a poco, la palabra “Micromundo” ha pasado a designar toda Simulación donde la gente puede “vivir”, realizar experimentos, verificar estrategias y elaborar una mejor comprensión de los aspectos del mundo real que aparecen retratados en el micromundo [10].

Expone [11] que a pesar de las diferentes concepciones existentes de los micromundos, hay tres objetivos comunes a todos. En

¹⁶ Trabajo de Grado para optar el título de ingeniería de sistemas- Universidad Industrial de Santander 2011

primer lugar, que ofrecen una manera para que más personas, a partir de una edad más temprana, puedan entender y explorar los conceptos y principios básicos de sistemas complejos. En segundo lugar, los micromundos se centran principalmente en la comprensión cualitativa, basada en la creación y el uso de modelos concretos. En tercer lugar, hay un intento deliberado de reducir la distinción entre el aprendizaje de ciencia y hacer ciencia. De hecho, el objetivo es que los estudiantes utilicen la tecnología de maneras similares a las de un científico. El aprendiz debe estar en una posición hacer los cambios a la simulación para entenderla bien, como un científico que cambia la simulación de alguna manera de probar una hipótesis.

En esta experiencia el micromundo es una herramienta software que integra el uso de la multimedia, los ambientes soportados en página Web, las facilidades de comunicación; acceso y administración de la información, las potencialidades de la computación para simular fenómenos soportados en complejos modelos matemáticos, ambientes de experimentación altamente interactivos y, además integran las potencialidades de las herramientas para el modelado y la simulación con Dinámica de Sistemas para facilitar procesos de construcción y reconstrucción de conocimiento.

El computador personal brinda la posibilidad de hacer simulaciones similares a la realidad que experimenta el usuario en el juego del teléfono móvil. Esta simulación permite apreciar el comportamiento de las diferentes variables del modelo en DS, según los posibles escenarios que se presenten en el juego, dando la oportunidad al usuario de realizar un análisis detallado de las situaciones generadas en el juego y evaluar las decisiones tomadas en el mismo.

En particular, el micromundo que opera en el PC está orientado a facilitar los aprendizajes sobre cómo crece un pez y sobre la gestión de la producción de peces en estanque. Igualmente permite constituir, mediante el moldeamiento y la simulación, a que el estudiante logre un aprendizaje profundo de la dinámica del mercado asociada al juego. En general en esta aplicación el estudiante debe formalizar todo el conocimiento que orientará la toma de decisiones al participar en el juego con el teléfono celular.

2.2 Sitio Web

El sitio web [18] de este ambiente de modelado y simulación para el aprendizaje y desarrollo de competencias, juega diferentes papeles. El principal (no totalmente visible por el usuario) es la operación continua del mercado de venta y compra de pescado; este mercado se recrea mediante el apoyo de un modelo matemático no lineal y de simulación basado en [13] que relaciona dinámicamente la oferta, la demanda y el precio del gramo de pescado, es un modelo que asume las ofertas reales de los diferentes productores (jugadores), recrea la demanda según la población y tipo de productores, la demanda potencial y el inventario; para poder suministrar en cualquier momento a los jugadores (productores e interesados en iniciar producción) el precio al cual el mercado le recibe su producción en dicho instante. Es de señalar que además el sitio web va registrando información de la dinámica del mercado (precios, inventario, transacciones de los productores... etc.), la cual alguna está a disposición de los jugadores y otra del administrador del sitio con

el propósito de estudio del comportamiento del mercado y de cada jugador.

El segundo papel del sitio es el gestionar el registro y participación de los jugadores suministrándoles los permisos de acceso pertinentes. Así mismo según sean el número de participantes y su actividad productiva, suministra parámetros al modelo del mercado.

Además el sitio web está pensado para brindar información general sobre el juego en el móvil, la dinámica del mismo, información teórica sobre la crianza de peces, pensamiento sistémico, dinámica de sistemas, suministrar los diferentes software y modelos a los participantes y brindar la posibilidad de que los jugadores intercambien inquietudes mediante un foro. Ver Figura 2.



Figura 2. Interfaz Sitio Web

2.3 Juego en dispositivo móvil

El término juegos serios, fue usado por primera vez como título de un libro de Clark C Abt en [14]. El libro ilustraba el poder de los juegos de simulación como una versión simplificada de la realidad y como ayudan a las personas a entender que las variables, causas y efectos, impactan en las decisiones en el mundo real [14].

Un juego serio con soporte informático, por lo general es una simulación que tiene el aspecto y la sensación de un juego, pero en realidad es una simulación de eventos o procesos del mundo real, simulación regida por un modelo matemático. El objetivo principal de un juego serio por lo general es formar o educar a los usuarios, aunque puede tener otros fines, tales como el marketing o la publicidad, al mismo tiempo que darles una experiencia agradable..." como plantea [15].

Este juego "serio" de simulación para teléfonos celulares da la posibilidad de vivir experiencias donde el estudiante debe recurrir a su conocimiento y experiencia, interpretar datos para informarse y tomar decisiones bajo incertidumbre. El juego implementa un modelo matemático en dinámica de sistemas, de crecimiento de peces (individual o en estanque); al jugar el estudiante compra alevinos, gestiona su crecimiento (alimento, oxígeno, densidad, peso), administra su inventario de alimento y aprecia los costos; basado en el conocimiento (adquirido con el Micromundo en el PC) y en el precio del gramo de pescado en el mercado (suministrado desde el móvil por el sitio web) el

estudiante evalúa la situación y toma la decisión de cuando vender. Cuando ha vendido toda su producción puede seleccionar el momento oportuno (según la dinámica del mercado) para iniciar otro ciclo de producción-venta [13].

El juego se presenta con dos niveles de complejidad, uno en el cual la producción es de solo un pez y las decisiones a tomar son solo el seleccionar el momento oportuno de vender y cuando iniciar otro ciclo producción-venta (Figura3) En un segundo nivel de complejidad se opera con un estanque de 25 a 100 peces y sus decisiones de compra de alevinos, gestión de la producción y ventas son diversas. En los dos casos se toman decisiones bajo incertidumbre ya que aunque el jugador conoce las leyes del mercado (resultado de la dinámica oferta, demanda, precio), estudiadas en el micromundo, desconoce las decisiones que otros participantes están tomando o van a tomar, lo cual puede modificar el precio en dirección e intensidad impredecible.

Es de resaltar que este es un juego orientado al desarrollo de la competencia de toma de decisiones basadas en el conocimiento, conocimiento que el estudiante construye en todas las actividades que le facilita el ambiente en su conjunto. El juego es el espacio de la experiencia donde el conocimiento adquiere sentido, se hace necesario y se aprecia la profundidad o debilidad del mismo. El juego permite el reconstruir el conocimiento con sentido, en contexto. Por lo anterior, el jugador siempre dispone de todo el conocimiento asociado a cada uno de los componentes del ambiente y del juego en particular.

El juego fue diseñado para trabajar en teléfonos celulares (móviles) de gama media en adelante que dispongan de Java y servicio de transmisión de datos. Aunque comúnmente se usa en el teléfono, se puede usarse en el PC mediante un emulador del teléfono y con comunicación vía Internet.



Figura 3. Escenario la tienda (compra y venta de peces)

2.4 Dinámica general de aprendizaje

Con este ambiente se puede promover una dinámica de aprendizaje reflejada en la Figura 4.

Al inicio se construye un conocimiento acerca de un sistema productivo que la brinda el micromundo; a partir de este

conocimiento se facilita la experiencia de gestión en el juego del celular y esa vivencia permite consolidar el conocimiento adquirido en la interacción con el micromundo, luego la vivencia de esta experiencia lleva a interactuar con el mercado en el sitio web para que considerando el mercado y la producción que se gestiona en el celular evaluar alternativas de toma de decisiones que pueden ser consideradas.



Figura 4. Dinámica General de Aprendizaje

3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

A continuación se presenta a través de la Figura 5 la metodología que orientó el desarrollo de la experiencia y la cual es descrita a continuación.

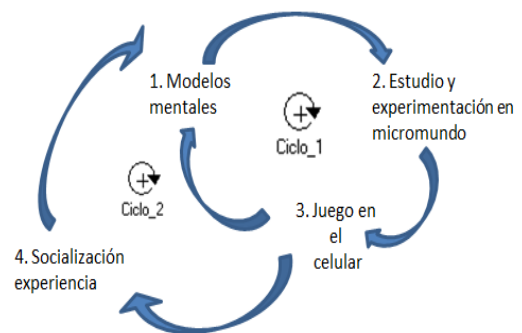


Figura 5. Metodología de desarrollo de la experiencia

3.1 Modelos mentales de los estudiantes.

Para iniciar la experiencia se plantea la siguiente situación problemática a los estudiantes: “En la casa le encargan cuidar un pez, alimentarlo apropiadamente para que crezca e incremente su peso y, en el momento adecuado, debe venderlo con la mejor ganancia posible. En un sitio de la plaza de mercado se lo compran y le aseguran un precio estable”. Teniendo en cuenta la anterior situación, se formulan a los estudiantes las siguientes preguntas una a una, es decir, se espera que el estudiante responda una pregunta para proponerle la siguiente: (cada estudiante debe responder por escrito)

- ¿Cuándo vende el pez? y ¿por qué?
- ¿Cómo crece un pez y por qué?
- Elaborar una gráfica X-Y (peso vs tiempo, variable independiente el tiempo) para responder a la pregunta: ¿cómo en el tiempo el pez va adquiriendo diferente tamaño o peso?

Luego se socializan las respuestas de los estudiantes. En esta actividad el profesor es un mediador para consignar las ideas de los estudiantes; es decir, no debe intervenir ni influir en las respuestas de ellos, únicamente procura que cada uno la presente claramente y sea consciente de su respuesta. Posteriormente se socializan y debaten las posibles respuestas y se sacan conclusiones al respecto, considerando que estas respuestas son consideradas en el aprendizaje con el ambiente virtual.

3.2 Estudio y experimentación con Modelos de DS en micromundos de simulación.

Esta etapa tiene el propósito de observar el aporte de los recursos del modelado y la simulación en el aprendizaje del fenómeno en estudio, usando los modelos de DS (con el software Evolución) de crecimiento de un pez: con los prototipos, prototipo1, prototipo2, prototipo 3, prototipo 4 17, prototipo5 (Figura 6) y el modelo de un estanque de peces (Figura 7); con estos modelos se podrá estudiar y experimentar desde el micromundo de simulación. En estos modelos se contemplando variables como el peso, el factor de conversión, costos de mantenimiento, alimento, oxígeno, entre otros. Además, se contará con información asociada al tema de estudio, proveniente de diferentes fuentes como: expertos, libros, revistas, internet.

El modelo en dinámica de sistemas, prototipo 5 (Figura 6) presenta la dinámica de crecimiento del pez y nos preguntamos por el factor económico, en particular por las utilidades que podríamos alcanzar en caso de vender nuestro pez. En esta oportunidad asumimos que el precio de venta del gramo de pez es constante, es decir, conozco de antemano cuanto me pagaran por cada gramo que pese mi pez. Con este dato y los costos de operación, que incluyen los gastos por comida para el pez y costos fijos, podemos conocer la utilidad esperada.

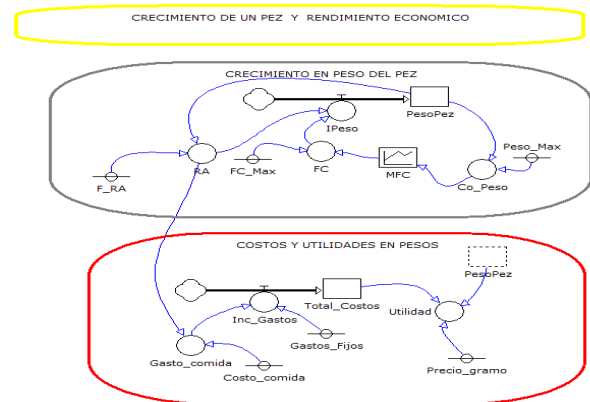


Figura 6. Modelo en DS del crecimiento de un pez (prototipo 5)

En este prototipo 5 (Figura 6) presenta la dinámica de crecimiento del pez y nos preguntamos por el factor económico, en particular por las utilidades que podríamos alcanzar en caso de vender nuestro pez. En esta oportunidad asumimos que el precio de venta del gramo de pez es constante, es decir, conozco de antemano cuanto me pagaran por cada gramo que pese mi pez. Con este dato y los costos de operación, que incluyen los gastos por comida para el pez y costos fijos, podemos conocer la utilidad esperada.

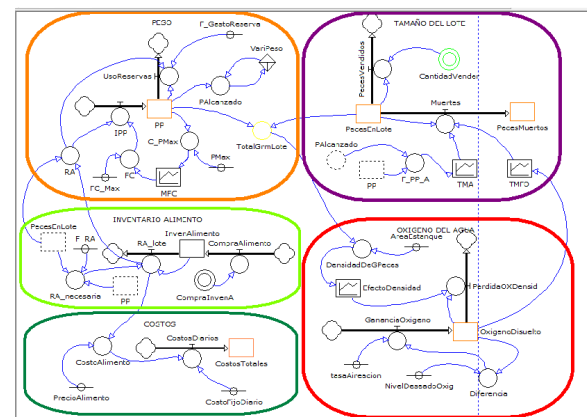


Figura 7. Modelo en DS de un estanque de peces

¹⁷ Ver descripción de los modelos Anexo 1

¹⁸ Disponibles en

http://simon.uis.edu.co/proyectomoviles/home/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=87

Luego se estudia un modelo de simulación para recrear el mercado (Figura 8), en términos de la oferta y la demanda de un producto.

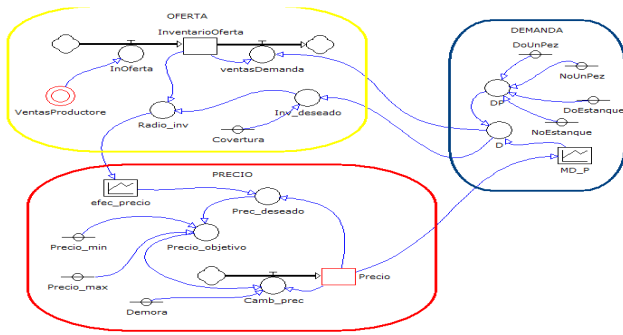


Figura 8. Modelo en DS del mercado

3.3 Jugando con el celular

Una vez estudiados los modelos y experimentando bajo diversos escenarios para consolidar el aprendizaje de la dinámica del fenómeno, los estudiantes juegan en el teléfono celular en el cual compran un alevino o un estanque de peces, gestionan su crecimiento y según las condiciones del mercado lo venden con el fin de obtener la máxima ganancia.

Cada estudiante debe jugar como mínimo 10 veces (Mínimo 10 producciones de compra y venta, individuales) e ir registrando de cada jugada lo siguiente:

JUGADOR, NOMBRE Y APELLIDOS

Fecha Jugada	Peso en grs. Del pez cuando vende	Precio del gramo	Utilidades

Al finalizar las 10 producciones el estudiante debe responder lo siguiente:

Explique su mejor juego (en el que obtuvo más ganancia, señale como jugó y porque cree que jugó bien?)

Explique su peor juego (en el que obtuvo menor ganancia)

Explique en general como jugó (estrategia utilizada, resultados, explicando con fundamento en el modelo del crecimiento del pez o del estanque y en el del mercado, las decisiones que tomó)

Cada vez que termina una jugada y respondiendo las preguntas anteriores el estudiante puede repetir los pasos anteriores (como se observa en el ciclo 1 de la (Figura 5) cuantas veces crea necesario, es decir puede reflexionar acerca de los modelos

mentales que están rigiendo sus decisiones, puede retomar el estudio de los modelos experimentando en el micromundo para en una próxima jugada tomar una decisión acertada.

3.4 Socializando la experiencia

Luego del juego individual de los estudiantes se promueve un debate acerca de la estrategia utilizada de manera individual, estrategia que debe ser sustentada en términos de los diversos modelos de DS estudiados es decir del crecimiento del pez, de un estanque de peces y el mercado, induciendo a generar estrategias de juego pertinentes para un colectivo y apreciando el aporte de la comprensión del fenómeno en términos de los modelos.

4. ALGUNAS OBSERVACIONES Y RESULTADOS

Observaciones durante la experiencia

En general se observa que los modelos mentales predominantes en los participantes no son coherentes con la explicación científica del fenómeno en estudio, por ejemplo la mayoría (un 80%) coincide en que el crecimiento de un pez o una especie en general es lineal, alrededor de un 15% manifiesta que el crecimiento es lineal hasta un punto específico y luego se estabiliza de manera constante y solo el 5% afirma que es caracterizado por un crecimiento en S.

Al iniciar la experiencia solo alrededor del 5% maneja la relación dinámica entre el precio de venta y costo de producción, es decir a la pregunta cuando vende el pez, se inclinan por responder que cuando este alcanza su máximo crecimiento, generalmente asumen el peso como la variable principal a considerar y dejan de lado la variable de utilidad, la cual puede influir considerablemente al tomar la decisión de venta.

El estudio y la experimentación con los modelos los estudiantes reflexionan y cuestionan los modelos mentales expuestos previamente, la posibilidad de experimentar bajo diferentes escenarios y la posibilidad de modificar parámetros y elementos del modelo facilitan la comprensión del fenómeno

La interacción con el juego en el celular motiva el estudio del fenómeno, aunque al principio no siempre obtienen las mejores ganancias, van comprendiendo de mejor manera la dinámica del juego y empiezan a mejorar las decisiones que toman en el mismo, siempre teniendo en cuenta los modelos que rigen el modelo y que las decisiones se toman bajo escenarios de incertidumbre lo que hace el juego interesante, lo que evidencia que van modificando su aprendizaje y competencias en la toma de decisiones, en la medida que interactúan con los diferentes componentes del ambiente.

Al finalizar la experiencia, se observa en las evaluaciones la comprensión del fenómeno, mayor capacidad de análisis, generación de hipótesis y argumentación de los resultados obtenidos, basados en la explicación científica del fenómeno, reflejado en las respuestas dadas a las preguntas realizadas al inicio de la experiencia.

En cuanto a los aprendizajes

Se evidencia un aprendizaje y comprensión de los fenómeno en estudio : producción y gestión de un sistema productivo así como oferta y demanda en un mercado, comprensión que va surgiendo del estudio y la experimentación con los modelos con DS y la experiencia vivida en el juego, la cual es significativa para ellos.

Así mismo a través de una situación problemática de aprendizaje se motiva el estudio del lenguaje de la DS, en donde se desarrollan competencias en la comprensión, lectura y elaboración de modelos de Dinámica de Sistemas.

Los estudiantes desarrollan competencias en la toma de decisiones bajo incertidumbre con las diversas actividades y el uso de recursos que propone esta experiencia.

En cuanto al aporte del ambiente virtual

Es de resaltar que cada uno de los componentes del ambiente juega un papel importante y aporta en el proceso de aprendizaje.

- Micromundo: Proporciona la información teórica, la posibilidad de interacción y experimentación en diversos escenarios con los modelos en DS. Aporta las fuentes para la reflexión y aprendizajes del fenómeno y evaluar alternativas de toma de decisiones.
- Sitio Web: permite la interacción de los jugadores a través del mercado al que se van uniendo, aporta el escenario de incertidumbre que caracteriza a la experiencia.
- Juego en el celular: Es el elemento innovador de esta experiencia, este se convierte en un motivante para el estudiante y permite vivenciar la experiencia de gestionar el sistema productivo y con la información evaluar las alternativas de toma de decisiones para la venta de su producción.

5. PREGUNTAS POR RESPONDER

Una vez concluida la experiencia, surgen algunas preguntas, las cuales podrían aportar al desarrollo de experiencias posteriores.

- ¿Qué facilidades de comunicación entre los jugadores debe facilitar el ambiente para posibilitarles la cooperación, o para que el investigador observe si se da cooperación?
- ¿Qué facilidades debe proveer el ambiente para facilitar el diseño de experimentos?
- ¿Qué otro tipo de experiencias pueden desarrollarse bajo un ambiente como el aquí presentado?

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la experiencia se aprecian satisfactorios, se evidencia un aprendizaje en los estudiantes, aprendizaje basado en la experiencia (juego en el celular) y en la explicación científica (a través de la DS) del fenómeno en estudio.

Se refleja que los estudiantes a medida que comprenden el fenómeno van mejorando las decisiones que toman respecto al mismo, lo que consolida el desarrollo de competencias en la toma

de decisiones basadas en la reflexión, argumentación y generación de hipótesis de la situación en estudio.

El uso de la dinámica de sistemas desde diversas herramientas hardware y software y las posibilidades de interacción con las mismas genera motivación en el estudiante durante el desarrollo de la experiencia, en donde la dinámica de sistemas es el recurso fundamental que apoya el aprendizaje del fenómeno en estudio.

La experiencia de jugar constituye un motivante para que el estudiante reflexione sobre el conocimiento que le brinda el modelo y consolide el conocimiento que guía la toma de decisiones.

Se aprecia que la experiencia de solo jugar no necesariamente motiva decisiones basadas en conocimiento, es necesario orientar la reflexión sobre las decisiones que se van tomando al jugar; reflexionen que sustentan las decisiones en el conocimiento. Es decir se debe lograr una dinámica de desarrollo de competencias en un ciclo como se describe en la Figura 9, donde el nivel de satisfacción en los resultados del juego determina el límite en el crecimiento.

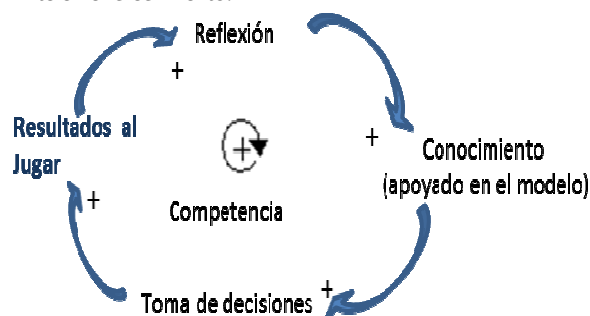


Figura 9. Ciclo de desarrollo de competencias en la toma de decisiones

7. REFERENCIAS

- [1] Navas, Ximena.. Propuesta Informática para la Educación en el Cambio, Basada en Ambientes de Modelado y Simulación. Un enfoque Sistémico . Trabajo de Investigación, Universidad Industrial de Santander, Maestría en Ingenierías. Área informática y ciencias de la computación. UIS, Bucaramanga. Colombia. 2006
- [2] Andrade, Hugo, & López, Giovanni.. Red De Aprendizaje Para El Modelado y la Simulación En La Escuela Colombiana. Séptimo Congreso Latinoamericano y Séptimo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas.2009 Santa Marta. Colombia.
- [3] Andrade, Hugo, & Maestre, Gina.. La dinámica de sistemas en la escuela, construyendo modelos mentales para la toma de decisiones cotidianas . Séptimo Congreso Latinoamericano y Séptimo Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas.2009 Santa Marta. Colombia.
- [4] Andrade, Hugo, & Maestre, Gina & López, Giovanni. La lúdica y las redes humanas para promover la sostenibilidad de la Dinámica de Sistemas en la escuela.

- Sexto Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. 2008 Santiago de Chile. Chile.
- [5] Andrade, Hugo, & Navas, Ximena. Propuesta para la difusión de la dinámica de sistemas en la escuela. En Dinámica de Sistemas, casos y aplicaciones en latinoamérica. 2008 (págs. 116-154).
- [6] Andrade, Hugo, & Navas, Ximena. Una experiencia de difusión de la dinámica de sistemas en la educación de 1 a 11 grado – hacia la construcción de una propuesta. Quinto Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. 2007 Buenos Aires. Argentina.
- [7] Andrade, Hugo, Maestre, Gina, & Gómez, Merly. Posibilidades y limitaciones para llevar la dinámica de sistemas a la escuela. Una experiencia colombiana. Quinto Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. 2007. Buenos Aires. Argentina.
- [8] Andrade, Hugo, & Navas, Ximena. Ideas para una Dinámica de Sistemas en la Educación desde el primer grado. Tercer Congreso Latinoamericano y Tercer Encuentro Colombiano De Dinámica De Sistemas. 2005 Cartagena. Colombia.
- [9] Lince, Emiliano; Cuellar Mario. EVOLUCION 3.5. HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL MODELAMIENTO Y SIMULACION CON DINAMICA DE SISTEMAS. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 2003
- [10] SENGE, P. (1998). La quinta disciplina en la práctica: como construir una organización inteligente. Barcelona: Granica.
- [11] RIEBER, L. P. (2005). Multimedia Learning in Games, Simulations, and Microworlds. En The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (pág. Cambridge). Cambridge University Press.
- [12] Guerra, Luis; Ríos Cesar. Ambiente software integrado por un juego para teléfonos móviles, un sitio web y una aplicación para computador personal, para el aprendizaje y toma de decisiones Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 2011.
- [13] WHELAN, Joseph and MSEFER, Kamil. Economic supply and demand. MIT SD Road Map paper: D-4388, pages 1–35, 1994.
- [14] ABT, C. (1987) Serious Game. Lanham. University Press of América.
- [15] TARJA, S., M, J., & BACKLUND. (2007). Serious games-an overview. Technical report hs- iki -tr-07-001. School of humanities and informatics. University of skövde, Sweden.
- [16] ANNETA, L. (2008). Serious Educational Games. From theory to practice. Rotterdam: Sense Publishers.
- [17] Grupo SIMON de Investigación. Aplicación De La Integración De Tecnologías Móviles Con Internet, Computador Personal Y De Representación Y Construcción Del Conocimiento. Informe de investigación Convenio CPE-UIS Caribe 1 2009-2010.
- [18] Pesco: Pesco Conocimiento Ambiente de aprendizaje con Dinámica de Sistemas. <http://simon.uis.edu.co/proyectomoviles/home> Consultado el 10 de Junio de 2011

ANEXO 1. DESCRIPCIONES DE LOS PROTOTIPOS DE CRECIMIENTO DE UN PEZ

Descripción del Modelo Prototipo 1 :

Esta es una primera aproximación, para tratar de entender cómo crece un pez, crecimiento que se da como resultado de que una parte de lo que come lo convierte en carne e incrementa su peso (y crece).

Este primer prototipo asume que desde pequeño el pez come la misma cantidad y la fracción que convierte en carne es constante, es decir, que cada día aumenta lo mismo. Estos supuestos explican porque el pez crece a velocidad constante, resultado de la simulación.

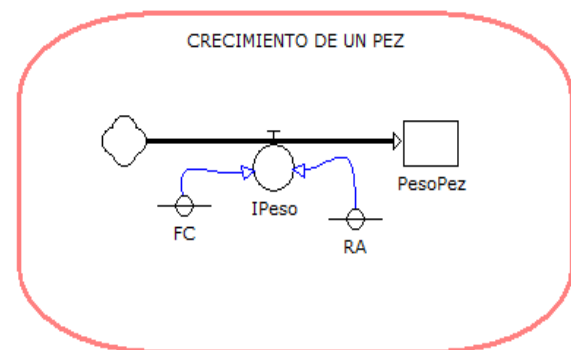


Figura 10. Prototipo 1 Crecimiento de un pez

Descripción del Modelo Prototipo 2:

Al primer prototipo le criticamos el hecho de que asume que el pez siempre come la misma cantidad (Ración constante) y además siempre convierte en carne una fracción constante de lo que se come. Por esto en el primer prototipo el pez crece de manera lineal (una recta) e indefinidamente.

En este segundo prototipo corregimos uno de esos dos detalles, asumimos que el pez pequeño come poco y el grande bastante; es decir, en la medida que el pez va creciendo come más. Esto lo representamos diciendo que la ración (RA) que el pez se come cada día es una fracción (F_RA) del peso que tenga en ese día, es decir: $RA = PP * F_RA$.

Al hacer la simulación con este prototipo corregimos lo de la Ración, pero no se corrige la dinámica de crecimiento, ahora crece indefinidamente y de manera acelerada, cada vez crece más rápido; el crecimiento ahora es exponencial y esto también es criticable ya que ningún ser vivo crece indefinidamente, siempre hay un límite en el crecimiento.

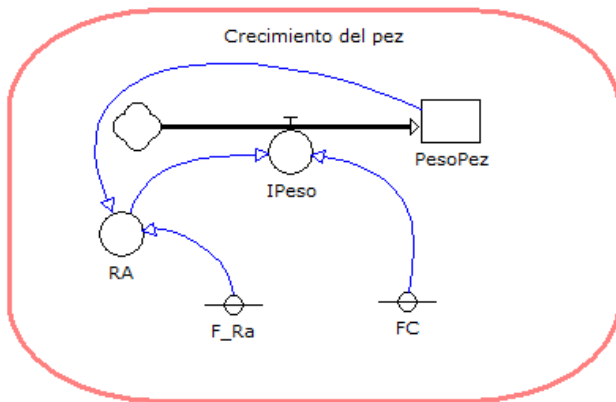


Figura 3. Prototipo 2 Crecimiento de un pez

Descripción del Prototipo 3:

En el segundo prototipo se asumió que el pez come de acuerdo a su tamaño. En el prototipo actual abordamos el problema del crecimiento exponencial, es decir, el pez crece indefinidamente. Para solucionarlo definimos el peso máximo (Peso_Max) que puede alcanzar el pez, este dato lo podemos obtener de la biología.

Definimos entonces la cobertura de peso (Co_peso) como $Co_Peso = \text{PesoPez} / \text{PesoMax}$, que nos dice qué fracción del peso máximo tiene el pez actualmente. Por último nuestro factor de

conversión depende de la Co_peso y se define con una no linealidad.

Al simular podemos observar como el crecimiento del pez se estabiliza en su peso Máximo.

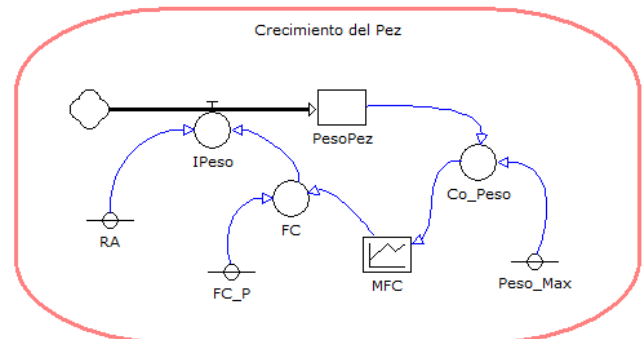


Figura 12. Prototipo 3 Crecimiento de un pez

Descripción del Prototipo 4:

En este modelo se integran los modelos prototipo2 y protitipo3. De tal forma que se construye así una explicación de cómo cambia tanto la ración diaria del pez como el factor de conversión. En una estructura de realimentación con dos ciclos uno de refuerzo (realimentación positiva) asociado a la dinámica de la Ración y otro de control (realimentación negativa) relacionado con el factor de conversión.

El ciclo positivo explica la tendencia inicial de crecimiento acelerado del pez, de forma exponencial, periodo en el cual domina este ciclo. Cuando el ciclo de realimentación negativa empieza a tomar fuerza, se inicia el proceso de desaceleración para acercarse asintóticamente al peso máximo.

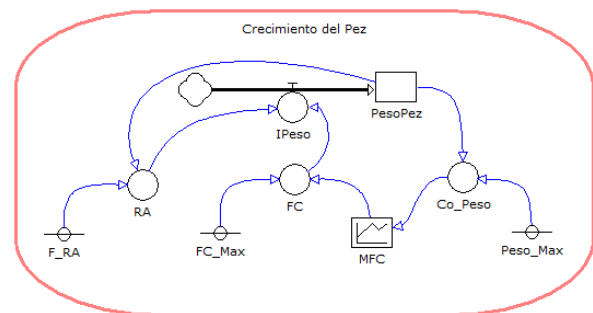


Figura 13. Prototipo 4 Crecimiento de un pez

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Competentes a los porrazos: la enseñanza de dinámica de sistemas en la Universidad de los Andes

Valentina Aceros
Dept. de Ing. Industrial
Universidad de los Andes

Adriana Díaz
Dept. de Ing. Industrial
Universidad de los Andes

J. Sebastian Escobar
Dept. de Ing. Industrial
Universidad de los Andes

Andrea García
Dept. de Ing. Industrial,
Universidad de los Andes

Juliana Gómez-Quintero
Dept. de Ing. Industrial
Universidad de los Andes

Camilo Olaya
Dept. de Ing. Industrial – Grupo TESO
Universidad de los Andes

Viviana Otero
Dept. de Ing. Industrial
Universidad de los Andes

Correspondencia (todos los autores):
Universidad de los Andes
Calle 19A No. 1-37 Este, Bogotá
Tel. +57 1 339 49 49

Dirección electrónica para
correspondencia:
colaya@uniandes.edu.co

RESUMEN

Compartimos el diseño del curso “Dinámica de Sistemas” de la Universidad de los Andes (Bogotá) que está basado en competencias. Este tipo de diseño implica un cambio radical en el salón de clase y en el diseño de programas, y trae retos para la pedagogía que merecen señalarse. Asumir la práctica de dinámica de sistemas como competencia invita a transformar un ambiente educativo. ¿Cómo desarrollar y promover esta competencia? El método de ensayo y error se antoja natural y consistente con dicha transformación. El artículo describe la forma como estamos diseñando el curso mencionado bajo los anteriores principios, los resultados logrados, su relevancia y las dificultades para superar.

Palabras clave

Competencia, currículo, programa, educación, ensayo y error.

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad de los Andes de Bogotá cuenta con un curso de dinámica de sistemas que es obligatorio para todos los estudiantes del programa de pregrado de ingeniería industrial. Este curso tiene como misión que los estudiantes desarrollen unas competencias

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

mínimas en dinámica de sistemas las cuales constituyen sus objetivos de aprendizaje. Diseñar un proceso pedagógico fundado en la noción de “competencia” no ha resultado ser una tarea fácil y ha representado retos y también algunos logros reveladores.

El propósito de este artículo es compartir con la comunidad colombiana de dinámica de sistemas el diseño del curso mencionado y algunas implicaciones de la aplicación del esquema basado en competencias, además de recibir realimentación, críticas y sugerencias sobre el mismo.

2. COMPETENCIAS Y DINÁMICA DE SISTEMAS

Hay abundante literatura sobre el uso de dinámica de sistemas (DS) como recurso o estrategia en procesos de aprendizaje para diversos dominios, particularmente en Latinoamérica, e.g. en la enseñanza de ciencias [4, 25]. Sin embargo no es fácil encontrar antecedentes que aborden estrategias o marcos conceptuales para diseñar e implementar procesos de aprendizaje de la dinámica de sistemas misma, es decir, procesos en donde se le conciba como fin pedagógico en sí mismo y no sólo como recurso para otros fines distintos; este tema es aun más escaso en la literatura si lo que se pretende es diseñar procesos de aprendizaje de dinámica de sistemas basados en enfoques por competencias.

Como punto de partida hay que anotar que es relativamente sencillo encontrar descripciones de cursos de dinámica de sistemas, e.g. [15, 17, 27, 31]. Sin embargo debemos destacar que no es fácil hallar descripciones completas que incluyan supuestos conceptuales, objetivos y actividades a realizar. Uno de los pocos “inventarios” formalizados que existen es el realizado por

Kennedy [20] quien elabora una clasificación de diferentes trabajos publicados sobre algunas técnicas pedagógicas utilizadas en dinámica de sistemas, organiza las investigaciones desarrolladas en las áreas de calidad de la enseñanza, prácticas de enseñanza y micromundos a diferentes niveles (nacional, universitario y colegio). Aunque en trabajos como los anteriores se describen cursos y sus objetivos generales, no se definen ni mencionan específicamente conceptos o competencias de dinámica de sistemas que se pretenden desarrollar, los supuestos de pedagogía que las podrían sustentar, ni qué actividades se deben diseñar y cómo se deben organizar para lograrlo.

2.1 Habilidades en dinámica de sistemas

Algunos autores alcanzan a delinear más explícitamente algunas *habilidades* relacionadas directamente con procesos educativos en DS. Destacamos a Ford y a Saeed.

Ford [11] plantea la dinámica de sistemas como estrategia para aprender a aprender; propone que existen tres formas generales de aprender: memorizar, aplicar procedimientos definidos y desarrollar nuevo conocimiento; ésta última busca el desarrollo de habilidades para aprender a aprender sobre el sistema que se quiere intervenir; plantea un modelo de aprendizaje que se basa en el ciclo OADI (por sus siglas en inglés *observe, assess, design, implement*) para el cual propone el desarrollo de unas habilidades asociadas a cada parte del ciclo mediante la utilización de herramientas y material de dinámica de sistemas. Sin embargo Ford concibe la DS como recurso y no como fin, y define como objetivo de su modelo de aprendizaje el desarrollo de habilidades (en lugar de la transmisión de conocimientos y soluciones conocidas) para aprender sobre sistemas complejos. Por su parte Saeed [32] es quizás el primer autor en vincular el término “competencia” con DS, aunque concibe a esta última como vehículo de aprendizaje (es decir, como recurso) para educación multidisciplinaria en tecnología; propone cuatro competencias: reconocimiento de patrones, identificación del sistema, experimentación, y conceptualización, las cuales asocia a cuatro facultades del modelo de aprendizaje de Kolb: observar, pensar, hacer y sentir. Para cada una de estas competencias define principios y resultados con el fin de homogeneizar la práctica y garantizar el aprendizaje individual basándose en la acumulación cíclica de experiencia; este énfasis en la *acción* sobresale en su propuesta y es uno de los aspectos tradicionalmente más reconocidos en la DS: la prominencia del proceso de modelamiento sobre el modelo (resultado) mismo; ya desde 1971 el mismo Forrester [13] hacía este énfasis explícitamente el cual compartimos plenamente, tal como lo destacaremos más adelante.

2.2 Dinámica de sistemas como competencia

Los casos anteriores utilizan la noción de *habilidad* que es una aproximación más cercana a nuestro curso de DS. Sin embargo subrayamos que hay diferencias importantes entre “habilidad” y “competencia”, e.g. las habilidades forman parte de las competencias, son constructores de éstas, las habilidades conciernen al aprendizaje y la educación de los individuos en todas las etapas de la vida, la práctica de una habilidad no significa la práctica de una competencia, es posible diseñar competencias pero no habilidades [10]. Efectivamente la importancia de basar un proceso de aprendizaje en competencias ha sido reconocida cada vez más enfáticamente en marcos y políticas encaminadas a diseñar cursos y procesos académicos en general [6]. Sin embargo, encontramos que la literatura sobre este

enfoque para la enseñanza de dinámica de sistemas es escasa. En el mencionado inventario de cursos y prácticas de enseñanza de DS de Kennedy [20] no se encuentran referencias asociadas a competencias. Una primera aproximación puede ser el trabajo de Andrade y Parra [5] que aunque no menciona de forma explícita la palabra “competencia”, sí incorpora la idea de una educación no basada en contenidos y que sea capaz de desarrollar en los individuos capacidades de aprender y pensar. El trabajo mencionado de Saeed [32] es tal vez uno de los primeros en señalar explícitamente una relación entre la noción de “competencia” y la DS para el aprendizaje.

El trabajo más cercano al esquema que presentamos en este artículo— y se constituye en su antecedente directo—es el de Shaffernicht y Madariaga [35] quienes elaboran un marco conceptual para diseñar cursos de dinámica de sistemas en currículos basados en competencias en Chile. Efectivamente resaltan la escasez de literatura sobre cómo diseñar un proceso pedagógico para enseñar dinámica de sistemas en el que se haga explícito cómo progresa el aprendizaje, las etapas que un estudiante atraviesa durante su formación y el tipo de actividades que se deben realizar. Como respuesta a esto realizan una caracterización de “lo que se aprende cuando se aprende dinámica de sistemas” con la utilización de la reconocida taxonomía de Bloom de objetivos de aprendizaje y la aplican para identificar los componentes y el diseño que debe seguir un proceso de aprendizaje de DS en el contexto de un currículo basado en competencias. Definen “competencia” como “saber actuar en una familia de situaciones mediante la utilización de una combinación exitosa de recursos internos (conocimiento) y externos”. Con esta definición definen entonces que un estudiante es competente en DS cuando puede “desarrollar un modelo de simulación validado conceptual y dinámicamente de una situación dinámica que permite comprender la estructura causal y cómo ésta genera la situación para así explicar políticas de alta influencia y sus ventajas sobre políticas alternativas y para explicar y argumentar las condiciones para su implementación exitosa”, competencia que se convierte entonces en el punto satisfactorio final de un curso de DS.

Destacamos de este último trabajo que aborda la dinámica de sistemas como competencia y fin en sí misma y no como recurso, define lo que se debe aprender en un curso de DS así como también las herramientas que promueven este aprendizaje. Resaltamos también un aspecto que podría diferenciarnos de esta propuesta de Shaffernicht y Madariaga; identifican componentes puntuales para la evaluación del logro de las habilidades que proponen, lo cual parecería sugerir la evaluación directa de componentes o conceptos específicos, punto que nuestra propuesta no contempla y que en su lugar, como explicaremos más adelante, propone examinar *actuaciones* en donde se integran conocimiento y habilidad sin la evaluación directa de información o de contenidos. En todo caso, hasta donde es de nuestro conocimiento, el trabajo de Shaffernicht y Madariaga es el único actualmente disponible para conceptualizar de manera específica y completa la enseñanza de la dinámica de sistemas desde un enfoque de competencias.

2.3 Auge y significación de las competencias

Colombia no es ajena a estos cambios en la forma de entender procesos educativos. Un punto de partida natural para abordar la noción de “competencia” es examinar el reciente diseño de los

exámenes nacionales de Estado para graduandos; en 2005 la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería resaltó en el documento que da el marco de fundamentación conceptual para dichos exámenes:

En el ámbito educativo Colombiano el ICFES plantea la competencia como “un saber hacer en contexto”, es decir, el conjunto de acciones que un estudiante realiza en un contexto particular y que cumple con las exigencias específicas del mismo...El grupo de trabajo en competencias de la Universidad Nacional plantea la competencia como **“una actuación idónea que emerge en una tarea concreta, en un contexto con sentido. La competencia o idoneidad se expresan al llevar a la práctica, de manera pertinente, un determinado saber teórico”**...De otra parte, Torrado define la competencia como un **conocimiento que se manifiesta en un saber hacer o en una forma de actuar frente a tareas que plantean exigencias específicas y que ella supone conocimientos, saberes y habilidades, que emergen en la interacción que se establece entre el individuo y una situación determinada**...Estas, entre otras definiciones apuntan a concebir la competencia como un conjunto de características propias del ser humano que se ponen en juego en un contexto específico y particular, **evidenciada a través de acciones concretas que se consideran indicadores de la misma**—[2] énfasis añadidos.

En esta misma dirección en 2006 la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes modificó sus programas para orientarlos al desarrollo de competencias. Uno de los documentos de trabajo para dicha reforma sintetiza los principios de este cambio:

La noción de competencia viene del campo de las lenguas donde el concepto resulta de gran claridad en la práctica: un individuo puede conocer la gramática de una lengua, puede conocer un gran número de palabras, pero ser absolutamente incapaz de comunicarse en dicha lengua... **Entendemos por competencias aquello que el estudiante debe poder hacer al final de una sesión, un curso, un bloque de cursos o un programa de ingeniería completo.** La descripción de la competencia se construye utilizando verbos que indican acciones observables. —[16] énfasis añadidos.

Tomamos esta última definición y consecuentemente entendemos que una competencia significa *mostrar un desempeño aceptable a partir de un conjunto concreto de acciones para un contexto o situación específica*, noción usualmente aceptada, e.g. [21]. Dado que este desempeño implica combinaciones de conocimiento, habilidades y actitudes, entonces las instancias de evaluación deben examinar de manera integral estos elementos [7] y considerar la preponderancia de la acción en la situación particular en la cual se muestra el nivel de competencia; la evaluación enfatiza entonces el desempeño y no simplemente el manejo de información; no es suficiente (¡ni estrictamente necesario!) la evidencia de “saber” unos contenidos [26]. De hecho se considera que una competencia no se puede examinar directamente sino que se evalúa a través de una actuación que es además en donde se integran conocimiento y habilidad; una persona sólo es competente *en-acción* [19]. La relación con el conocimiento se invierte y en lugar de identificar y comenzar con temas y conceptos el punto de partida es la situación misma en la cual se espera que un estudiante sea competente [19]. Cada instancia de evaluación intenta responder a la pregunta: *¿Qué acciones debería emprender una persona competente bajo este tipo de situaciones?*

Esta conceptualización implica un cambio importante en el rol del estudiante dado que ya no se busca que memorice reglas,

procedimientos o conceptos sino que se le exige mostrar una inteligencia “situacional”, es decir que debe demostrar que puede actuar competentemente frente a un tipo de situación específica; el centro del proceso pedagógico es una “persona-situada-en-acción” [19]. Se puede notar que un curso basado en contenidos y evaluaciones parciales de conceptos y de bloques de conocimiento no puede consistentemente evaluar competencias. Una perspectiva de competencias cuestiona implícitamente el supuesto de romper el proceso de aprendizaje en ítems específicos de conocimiento que se pueden evaluar parcialmente y que se pueden promediar. En cambio, la premisa es contextual y situacional; la competencia de un estudiante depende de todo lo que es capaz de hacer en una *situación* concreta y según unos *recursos disponibles*; una competencia se desarrolla, ejercita, modifica y evalúa en *situaciones*, al contrario de la educación basada en contenidos en la que hay una *adquisición gradual de conocimiento con una eventual posterior aplicación del mismo* [19].

La utilización de competencias como principio alrededor del cual se organiza un curso afecta las prácticas cotidianas en clase y, de manera más importante, se convierten en vehículos que dan sentido a los estudiantes pues es una forma de traer de vuelta la vida real al salón de clase [19]. La instancia de evaluación se convierte así en piedra angular de un curso de esta naturaleza e involucra criterios y principios que no son necesariamente los mismos de la educación tradicional; destacamos el abandono de la arraigada “cultural del test” (preguntas descontextualizadas de opción múltiple con restricciones de tiempo y sin la ayuda de recursos que en la vida real están disponibles) anclada en modelos psicométricos que hoy en día son cada vez más cuestionados por su desconexión con la vida real y por las crecientes dudas sobre su confiabilidad como “instrumentos de medición de aprendizaje” [6]. En cambio, en esquemas basados en competencias cobra especial relevancia que las evaluaciones representen situaciones lo más auténticas posibles en donde hay disponibilidad de recursos y una necesidad de efectividad en la práctica que está por encima de una correspondencia con conceptos, procedimientos o teorías; igualmente importante es el mismo proceso de mejoramiento en desempeño que haga el estudiante a lo largo de un curso dado que se asume que el desarrollo de una competencia cambia y puede mejorar con el tiempo, y además se reconoce que no todos los estudiantes avanzan al mismo tiempo [6]. Implica también el reto de reconocer que no hay universalidad en respuestas correctas y significados; muchos desempeños adecuados diferentes son posibles, eventualmente tantos como estudiantes hay. Igualmente se debe resaltar que es imposible asumir como condición suficiente de evaluación un fraccionamiento del conocimiento para luego calcular un desempeño global a partir de un promedio de unas calificaciones parciales; esto contradice la integralidad implicada en una competencia como referente de valoración.

El interrogante natural entonces es cómo realizar diseños de espacios educativos para el desarrollo de competencias que sean consistentes con dicha noción. Consideramos que un proceso continuo de ensayo y error es consistente con la idea misma de “competencia”, de la misma forma que desarrollamos competencias como nadar o a montar en una bicicleta: ensayo y error.

2.4 Ensayo y error

Nuestro curso tiene como objetivo la enseñanza de la dinámica de sistemas para modificar modelos mentales, reflexionar y ser más efectivos acerca de la forma como entendemos el mundo, punto en el que coincidimos con los elementos básicos y tradicionales de

DS [12, 36]. ¿Cómo diseñar un curso fundado en competencias bajo estas premisas? Seguramente hay numerosas opciones; nosotros presentaremos la forma como estamos abordando esta pregunta.

Como ya señalamos, la misma naturaleza de las competencias implica que éstas sólo se pueden construir y desarrollar en situaciones y en acción, al contrario de la educación tradicional en la que se asume que los estudiantes primero deben adquirir progresivamente unos conocimientos y luego después, eventualmente, aplicarlos en situaciones diseñadas para examinar dichos conocimiento. Es decir, partimos de la idea de “aprender haciendo” en lugar de la idea de “aprender primero y aplicar después”. Y efectivamente en la tradición de la DS se reconoce la necesidad de aprender a través de la experiencia y del proceso de modelaje el cual resulta siendo más importante que el modelo mismo [13, 32]. De manera explícita el mismo Forrester [14] afirma que una persona aprende de la experiencia y que la construcción de modelos computacionales es una forma acelerada de generar aprendizaje a partir de la experiencia de interactuar con el simulador. Sugiere que la dinámica de sistemas se aprende haciendo y cometiendo errores, y afirma que este proceso de ensayo y error permite cambiar modelos mentales.

De manera semejante, nuestro enfoque sigue epistemológicamente un modelo popperiano de “ensayo y error” [29, 30]: evolución de competencias a través de la continua confrontación de conjeturas no predecibles (en forma de hipótesis, ensayos, intentos, propuestas) realizadas por los estudiantes, enfrentadas continuamente a la crítica y las refutaciones (eliminación, selección) recibidas en diversos espacios en el curso. Las competencias no sólo se evalúan de acuerdo con la acción que realiza un estudiante en una situación sino que también se desarrollan, ejercitan y mejoran de la misma forma [19]. Bajo esta perspectiva se reconoce a los estudiantes como agentes activos (en lugar de receptores de conocimiento) que además son fallibles, al igual que todo ser humano, incluyendo a los profesores, con el inherente acogimiento del error como motor de innovación y del proceso educativo y no como motivo de vergüenza o como criterio final de falla. A partir de la aceptación legítima del error se busca que los estudiantes generen intentos (acciones) para situaciones que les exigen desempeños competentes y que implican la utilización e integración de múltiples habilidades y recursos; esto plantea la necesidad de diseñar presiones de selección que promueven la generación y observación de errores por parte de los estudiantes. Este proceso debería lograr que los proponentes de dichas conjeturas, enfrentados a este proceso continuamente, sean cada vez más competentes a través de un proceso de selección natural que elimina hipótesis e intentos fallidos y retiene los exitosos; detalles conceptuales y metodológicos de este esquema se encuentran en [28, 33, 34]. El resto del documento está dedicado a presentar y discutir la forma como implementamos estas ideas.

3. NUESTRO CURSO

3.1 El primer diseño: contenidos

Cuando se incluyó el curso como obligatorio en el programa de pregrado de Ingeniería Industrial en la Universidad de Los Andes en el primer semestre de 2002 su diseño estaba orientado por objetivos y contenidos. Los objetivos de aprendizaje, los temas que cubría, y su respectiva evaluación, suponían como principio organizador del curso los *conceptos* considerados como relevantes

en dinámica de sistemas. El documento de programa del curso incluía una lista de temas que se evaluaban mediante comprobaciones de lectura, un trabajo de profundización, un proyecto de investigación, dos exámenes parciales y un examen final. Cada elemento de evaluación tenía un porcentaje asociado y el promedio ponderado de las calificaciones constituía la nota final del estudiante. Bajo este esquema, para aprobar el curso era necesario obtener una calificación final mínima de 3,0 (en una escala de 0,0 a 5,0) calculada como promedio ponderado de todas las notas parciales.

Los exámenes estaban diseñados para evaluar si un estudiante “conocía” y “comprendía” conceptos, e.g. nivel, convertidor, flujo, hipótesis dinámica, ciclos de realimentación etc.; se utilizaban preguntas de opción múltiple, falso y verdadero, y casos sencillos de aplicación diseñados específicamente para examinar dichos conceptos. En cada pregunta se evaluaba un concepto particular y la suma de respuestas correctas constituía la calificación de dicha evaluación. De acuerdo con el diseño y evaluación del curso, se podía esperar que un estudiante que aprobara entendía—*en promedio*—los conceptos relacionados con dinámica de sistemas. Notablemente, el curso era aprobado por la mayoría de los estudiantes.

Este diseño anterior ilustra el supuesto de que es posible medir el desempeño de un estudiante por medio del fraccionamiento del conocimiento el cual a su vez está definido por conceptos y contenidos. Las limitaciones de este supuesto se evidencian en algunos indicadores para dos semestres académicos en los que el curso se había consolidado con un diseño estable y aceptado (Tabla 1). Buena parte de los estudiantes que no habían aprobado algún examen—entendidos estos como las instancias evaluativas de los objetivos de aprendizaje del curso—aprobaron el curso simplemente porque el promedio de las calificaciones resultaba aprobatorio; por ejemplo el 55.38% de los estudiantes que aprobaron el curso en el segundo semestre de 2002 perdieron al menos un examen; y aún más dramáticamente el 12.31% reprobaban los tres exámenes y sin embargo aprobaron el curso. La paradoja más significativa seguramente se dio en el primer semestre de 2003: el único estudiante que perdió el curso aprobó los tres exámenes del mismo.

Tabla 1. Aprobación del curso - diseño por contenidos

	Semestre	
	2002-II	2003-I
Estudiantes que aprobaron el curso y que perdieron al menos un examen (%)	55.38%	61.11%
Estudiantes que aprobaron el curso y perdieron los tres exámenes (%)	12.31%	11.11%
Estudiantes que aprobaron los tres exámenes y perdieron el curso (%)	0.00%	2.78%
Estudiantes que pierden el curso (%)	0.00%	2.78%

3.2 De contenidos a competencias

Desde entonces el curso se ha transformado radicalmente, cambio que fue impulsado y concebido desde sus comienzos por el profesor Andrés Mejía. Hoy en día está diseñado con base en competencias como principio organizador y bajo un esquema explícito de aprendizaje a través de procesos de ensayo y error; se han rediseñado las actividades educativas, los instrumentos de

evaluación y los espacios de aprendizaje. Cada semestre este diseño es revisado y cuestionado por el equipo docente del curso. Actualmente consideramos que una persona competente en DS debería: (1) construir modelos confiables de simulación (niveles y flujos) de situaciones no estructuradas, (2) conceptualizar situaciones complejas y reales desde una perspectiva de realimentación, y (3) construir hipótesis dinámicas que apoyen el diseño de políticas para sistemas sociales. En el curso estas tres competencias son consideradas *necesarias y suficientes* para aprobarlo lo que implica que la aprobación del curso requiere de la demostración de un nivel mínimo de desempeño *en cada una de ellas*—el curso cuenta además con un componente de competencia de trabajo en equipo que no abordaremos en este artículo y que no es necesaria para aprobarlo por parte de los estudiantes. Estas competencias son ahora nuestro punto de partida y entonces el reto del curso es construir espacios en los que los estudiantes las desarrollen y no que memoricen o que aprendan conceptos, métodos, técnicas o teorías. El diseño de las clases, los espacios de aprendizaje, las actividades y la forma como las evaluaciones están diseñadas y son calificadas están en función de estas competencias.

La evaluación de cada competencia consiste en la realización de un examen individual en el cual cada estudiante cuenta con dos horas y media para mostrar su desempeño al abordar un caso el cual se busca que sea auténtico y que esté conectado con temas de interés de la vida real. Los instrumentos de evaluación no constan de preguntas sobre conceptos específicos sino que exigen que el estudiante utilice recursos que en la vida real están a su disposición, e.g. computador, libros, apuntes de clase, ejercicios, exámenes anteriores (que están a disposición de los estudiantes) en combinación con comprensión de conceptos y habilidades para: construir un modelo de simulación (competencia 1), construir un modelo conceptual de ciclos de realimentación (competencia 2) y construir una hipótesis dinámica para diseñar políticas (competencia 3).

Los exámenes exigen de los estudiantes la selección de información adecuada, la elaboración de supuestos de información que no conozcan, la articulación de diversos conceptos y el criterio para elaborar una posible solución al caso planteado en cada examen. Los instrumentos de evaluación no exigen una única respuesta, en cambio, están diseñados para examinar el nivel de desempeño de un estudiante para desarrollar un modelo o una hipótesis dinámica de una situación relativamente no estructurada. De hecho usualmente los estudiantes proporcionan diferentes “soluciones” que evidencian niveles similares de desempeño y que por lo tanto obtienen una calificación similar. Los estudiantes cuentan además con dos oportunidades de evaluación para aprobar cada competencia. La primera oportunidad se realiza durante el semestre regular y la segunda al finalizar el período académico. Este esquema pretende reconocer las diferencias en el tiempo que les toma a los diferentes estudiantes desarrollar las competencias. Adicionalmente, conforme se avanza en el curso en cada competencia los estudiantes pueden requerir de competencias anteriores, e.g. construir una hipótesis dinámica requiere ser competente en comprender un modelo de simulación. Este diseño destaca que ser competente en dinámica de sistemas requiere de desempeños mínimos en cada una de las tres competencias y que éstas además no se agregan o promedian en una calificación.

Para evaluar integralmente la combinación de conocimientos, habilidades y actitudes en una competencia específica, el desempeño de los estudiantes en dichas evaluaciones se determina a partir de una matriz en la que la calificación está sujeta a

diferentes niveles de desempeño los cuales a su vez están asociados a un intervalo en una escala numérica; la Tabla 2 muestra un ejemplo para la tercera competencia con dos niveles de desempeño. Dicha matriz parte de la pregunta de qué acciones debe realizar y mostrar una persona competente en lo que se desea evaluar. Los diferentes niveles de desempeño se articulan con el objetivo del curso, pues permiten diferenciar que tan competente es el estudiante en cada una de las competencias.

Tabla 2. Instrumento de evaluación y dos niveles de desempeño para la competencia 3

Competencia 3: hipótesis dinámica y políticas	
Instrumento de evaluación	Examen parcial. A los estudiantes se les entrega un modelo de simulación asociado a una situación relativamente no estructurada expresada en un texto.
Desempeño mínimo (nota aprobatoria, 3.0)	Identifica en un modelo de simulación las realimentaciones y sus polaridades correctamente y articula, con algunas imprecisiones, su funcionalidad y la estructura del modelo con el resultado de simulación experimental para sustentar, explicar o anticipar comportamientos posibles de un sistema; sin embargo no es preciso en el diseño de experimentos ni en el análisis de sus resultados y/o no aprovecha completamente el análisis estructural o la simulación para sustentar sus hipótesis dinámica. Diseña escenarios y políticas parcialmente coherentes con dichas explicaciones.
Desempeño ideal (nota máxima, 5.0)	Identifica en un modelo de simulación las realimentaciones y sus polaridades correctamente y articula su funcionalidad y la estructura del modelo con el resultado de simulación experimental para explicar o anticipar comportamientos posibles de un sistema; diseña y aplica correctamente experimentos de simulación e integra el análisis estructural para desarrollar consistentemente una hipótesis dinámica. Diseña escenarios y políticas coherentes con dichas explicaciones para intervenir sistemas

Este diseño les exige a los estudiantes un rol activo desde el mismo comienzo. Para esto cuentan con múltiples espacios para generar intentos (ensayos) que son sometidos a presiones de selección (error); las sesiones de clase se realizan bajo el supuesto que el estudiante ha preparado la clase y se utilizan entonces para aclarar dudas, señalar aspectos importantes, confrontar lo que los estudiantes entendieron con lecturas previas y ejercicios, realizar talleres, y para contextualizar temas y aplicaciones; hay también una sesión semanal de laboratorio computacional para desarrollar prácticas con paquetes de software y así poner a prueba lo que saben hacer, cuentan con el apoyo de un asistente y monitores para confrontar las propuestas de solución a casos y ejercicios desarrollados previamente por los estudiantes e identificar posibles errores o fallas conceptuales. Cuentan también con una sala de atención especializada por parte de los monitores del curso que está disponible 20 horas a la semana; allí además tienen acceso a numeroso material (tareas, ejercicios, laboratorios, exámenes de semestres anteriores, etc.) el cual también está disponible a través de Internet. Los estudiantes también tienen la opción de enviar al equipo docente en cualquier momento de tiempo las propuestas de solución que elaboren a cualquier ejercicio disponible con el fin de obtener realimentación. En todos estos espacios se confrontan los ensayos, intentos y propuestas de

los estudiantes con las sugerencias y la crítica detallada de monitores, asistentes y profesores.

3.3 Resultados

Presentamos varios resultados para ilustrar algunos aspectos distintivos del diseño actual del curso.

3.3.1 Aprobación del curso

Al observar los porcentajes históricos de estudiantes que han reprobado el curso (Figura 1) llama la atención el incremento de este porcentaje en el diseño del curso por competencias en relación con el diseño anterior por contenidos. De cifras aproximadas de 0% ahora cerca del 18% de los estudiantes reprueban. Esto podría evidenciar limitaciones del diseño anterior basado en contenidos pues con su distribución porcentual del valor de la nota en los diferentes elementos de evaluación (parciales, quices, talleres, proyectos, ensayos, etc.) un estudiante podía reprobando los exámenes, y aun así aprobar el promedio final del curso por medio de las otras notas; esto evidentemente impide establecer con base en la calificación final si el estudiante “sabe” los conceptos que se asumían como importantes y como objetivos de aprendizaje; de hecho las cifras evidencian la limitación misma del diseño pues el curso se podía aprobar sin necesidad de demostrar en los exámenes la comprensión de los conceptos. El diseño por competencias permite que la calificación final refleje de forma más confiable si el estudiante ha cumplido de forma mínima con los objetivos de aprendizaje del curso pues para aprobarlo es necesario que muestre un nivel mínimo de desempeño en cada una de las competencias. Se debe anotar que los temas y conceptos en ambos tipos de cursos son los mismos, inclusive el texto guía es el mismo. También se podría pensar que el diseño por competencias exige mucho más a los estudiantes; parecería sugerirse que “ser competente” es más retador que “dominar conceptos o técnicas”.

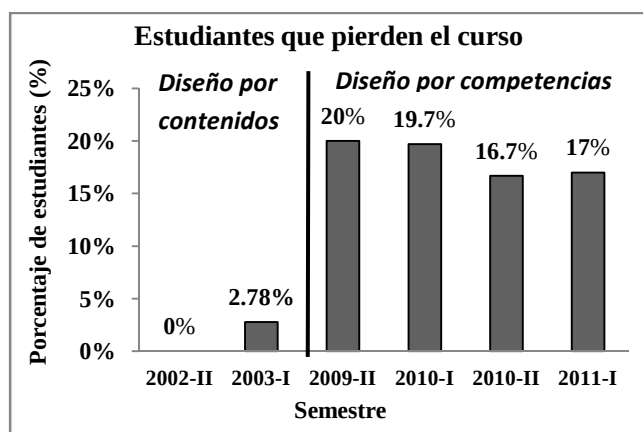


Figura 1. Estudiantes que han perdido el curso

3.3.2 Desarrollo durante el semestre

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran los más recientes (de 2009 a 2011) porcentajes semestrales de estudiantes que aprobaron cada una de las competencias, tanto en la primera oportunidad como al final del curso; evidencian que efectivamente es posible que buena parte de los estudiantes alcancen niveles mínimo de desempeño en cada competencia.

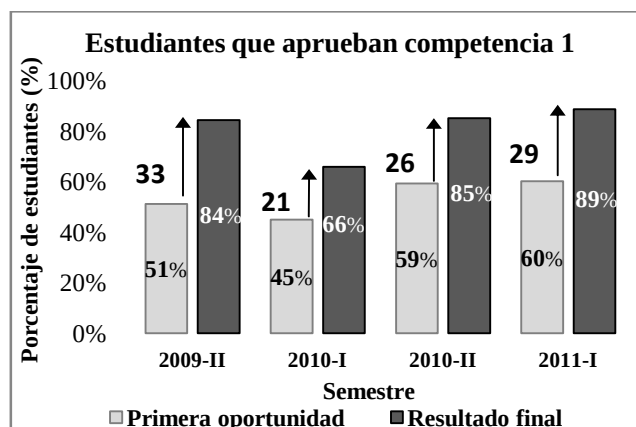


Figura 2. Progreso de estudiantes en la competencia 1: estudiantes que alcanzan al menos un nivel mínimo de desempeño en la primera oportunidad y al final del curso.

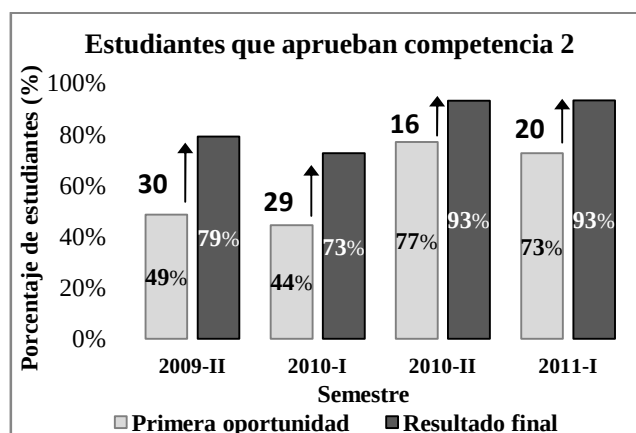


Figura 3. Progreso de estudiantes en la competencia 2.

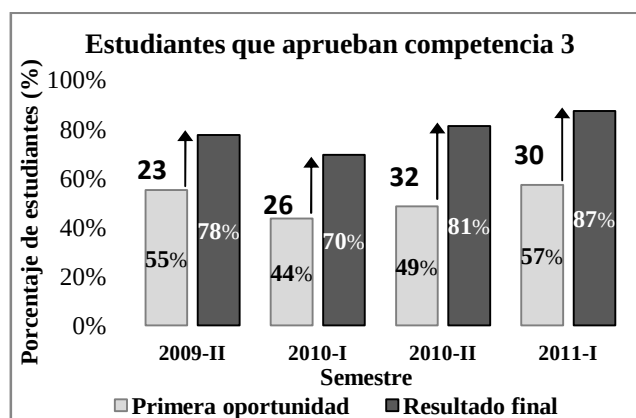


Figura 4. Progreso de estudiantes en la competencia 3.

El diseño por competencias reconoce el progreso que hace un estudiante durante un curso; la metodología fomenta que el estudiante desarrolle un proceso de aprendizaje durante el semestre teniendo en cuenta que no todos los estudiantes progresan al mismo tiempo. Se puede observar que inicialmente hay porcentajes significativos de estudiantes que reprueban las competencias en la primera oportunidad, cercanos y superiores al 50%, sin embargo, al finalizar el curso un porcentaje alto de

estudiantes logra niveles de desempeños aprobatorios en la segunda oportunidad; en general alrededor de la tercera parte de estudiantes que aprueban cada competencia lo logran al finalizar el semestre. Sin duda a algunos estudiantes les toma menos tiempo ser competentes de acuerdo con la situación que enfrentan. Es importante resaltar este contexto situacional y la diversidad de los agentes; estudiantes que aprueban alguna competencia en la primera oportunidad no necesariamente lo logran en otras competencias.

3.3.3 Niveles de desempeño

Las Figuras 5 y 6 ilustran resultados al final del curso para las competencias 2 y 3 discriminados por semestres y para diferentes niveles de desempeño.

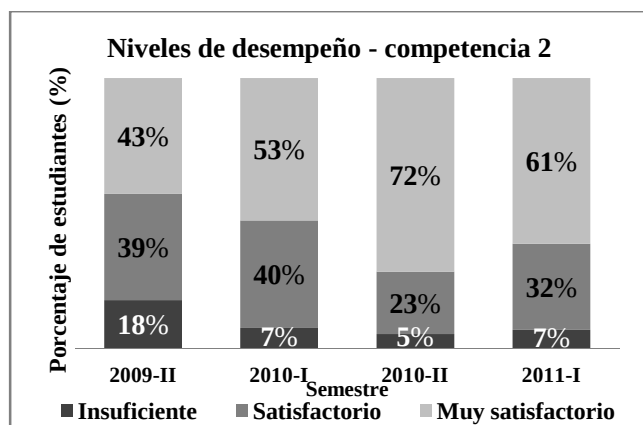


Figura 5. Nivel de desempeño alcanzado por los estudiantes en la competencia 2 al final del curso. Insuficiente equivale a no aprobar la competencia (nota menor a 3.0), satisfactorio entre 3.0 y 4.0 y muy satisfactorio a una nota mayor a 4.0.

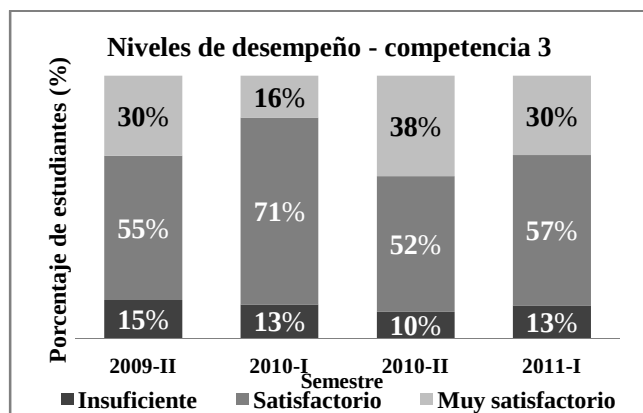


Figura 6. Nivel de desempeño alcanzado por los estudiantes en la competencia 3 al final del curso. Insuficiente equivale a no aprobar la competencia (nota menor a 3.0), satisfactorio entre 3.0 y 4.0 y muy satisfactorio a una nota mayor a 4.0.

Se destaca que la competencia 2 presenta porcentajes aceptables de desempeño idóneo (muy satisfactorio) mientras que para la competencia 3 estos porcentajes son menores. Dado esto se reconoce que es posible que existan más dificultades para el desarrollo de la competencia 3, posiblemente esto esté relacionado con el hecho de que es la última competencia que se desarrolla en el semestre y el tiempo que se dedica a ella es más corto; además esta competencia tiene elementos de las competencias 1 y 2, luego las falencias que puedan existir en éstas últimas pueden influir en el desempeño de la competencia 3.

3.3.4 Percepción de los estudiantes

La Universidad realiza al final de cada semestre una encuesta a los estudiantes la cual es anónima y pretende examinar su percepción en diferentes aspectos del proceso educativo. Los resultados de dichas evaluaciones se hacen públicos a través de internet. La Tabla 3 muestra una selección de preguntas que son relevantes para el esquema que estamos presentando.

Tabla 3. Preguntas de la encuesta de percepción a estudiantes.

	Pregunta	
Metodología	A	El profesor realiza y promueve actividades que son efectivas para mi aprendizaje
	B	Las evaluaciones son adecuadas y consistentes con los objetivos del curso
Competencias 1 y 3	C	El curso ha contribuido a desarrollar habilidad para diseñar un sistema que satisfaga necesidades bajo restricciones
	D	El curso ha contribuido a desarrollar mi habilidad para aplicar conocimientos de ingeniería en la solución de problemas
	E	El curso ha contribuido a desarrollar mi habilidad para identificar, formular y/o resolver problemas relacionados con la ingeniería
Rol del estudiante	F	El esfuerzo que le he dedicado a este curso
	G	El nivel del aprendizaje que he logrado en este curso
	H	Mi compromiso con el desarrollo del curso

La Figura 7 sintetiza los promedios de los resultados de estas encuestas de los últimos cuatro semestres en una escala de 0.0 a 5.0. Las percepciones de los estudiantes acerca de las competencias que desarrollan en el curso y acerca de la metodología (preguntas A, B, C, D y E) permiten pensar que de acuerdo con los estudiantes la metodología efectivamente promueve el desarrollo de las competencias; y en términos globales califican positivamente la metodología del curso y sienten que éste ha contribuido a su desarrollo. Adicionalmente hemos mencionado que el diseño por competencias requiere de un rol activo por parte de los estudiantes. Los resultados de las preguntas F, G y H indican que la mayoría de estudiantes consideran que el nivel de esfuerzo, aprendizaje y compromiso realizados durante el curso es alto.

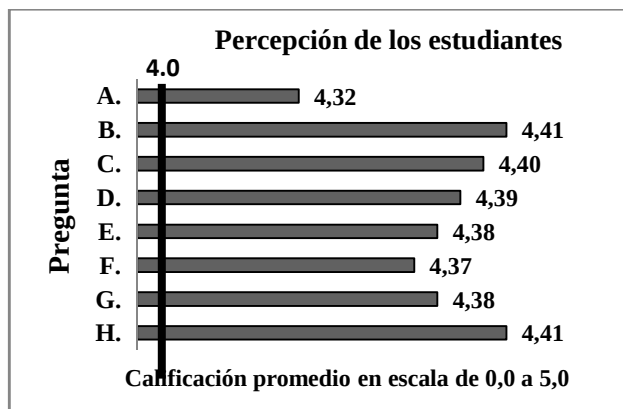


Figura 7. Percepción de los estudiantes sobre la metodología, evaluaciones, efectividad del curso para el desarrollo de las competencias, y su rol como estudiantes.

La encuesta incluye además preguntas abiertas. La Tabla 4 presenta algunas citas textuales escritas por estudiantes sobre la metodología del curso; las dos primeras ilustran que se puede efectivamente aspirar a que los estudiantes comprendan los propósitos de un diseño de curso que entienden “más humano” y “más justo”. Las citas restantes ilustran algunas dificultades típicas que hemos encontrado en la forma como los estudiantes pueden llegar a percibir el diseño del curso: muy rígido, demasiado agregado en donde inclusive los mismos estudiantes prefieren la usual parcelación de temas y conceptos ponderados por pesos en la calificación final antes que situaciones que demandan integración de múltiples contenidos y habilidades, la expectativa de encontrar explicaciones por parte del profesor (o en un texto) antes que favorecer la práctica misma por encima de la “explicación” exógena, lo radical que puede percibirse el diseño, y la presión que genera el sistema de calificación en las instancias de evaluación.

Tabla 4. Citas ilustrativas de estudiantes.

<i>Este curso está muy bien diseñado. El hecho de exigir la aprobación de los tres parciales genera en los estudiantes una mentalidad de hacer las cosas bien y no por obligación.</i>
<i>Muy buen curso!! Me parece que el trato a los estudiantes es muy humano! Los profesores se esfuerzan por hacer evaluaciones justas y diferentes para cada semestre.</i>
<i>El sistema de evaluación es muy rígido y demanda casi perfección en la elaboración de modelos dinámicos. Posiblemente si el criterio de evaluación se desagrega más sería más beneficioso para los estudiantes y les haría ver más claramente los objetivos y habilidades que se desarrollan.</i>
<i>Intenta promover la autonomía pero la forma no es la correcta ya que las lecturas relacionadas con los temas son muy largas y su explicación es demasiado superficial.</i>
<i>La teoría de que el estudiante es el que debe aprender tiene cierto sentido, pero en este curso se toma al pie de la letra, de forma radical. Sería valioso que el profesor expusiera más temas en clase.</i>
<i>El sistema de calificaciones genera mucha presión pues un estudiante muy bueno podría terminar perdiendo el curso por errores que en últimas pueden no ser significativos.</i>

4. DISCUSIÓN

El continuo desarrollo, puesta a prueba, rechazo y selección de desempeños debería propiciar procesos de aprendizaje [30]. Los estudiantes de nuestro curso se enfrentan a través de este proceso a continuos eventos de “ensayo y error”, es decir, es un proceso que exige la participación activa de los estudiantes quienes autónomamente proponen conjeturas que demuestran en desempeños y que pueden ser rechazadas en la interacción con sus compañeros y docentes, es un aprendizaje “a los golpes” el cual los debería hacer más competentes; este esquema además lo juzgamos consistente y adecuado para procesos educativos fundados en competencias.

Consideramos que el desarrollo y la evaluación de competencias a través de un curso implican un rediseño y una reflexión del proceso pedagógico, transformación necesaria que a veces no parece apreciarse en su justa dimensión. Enfatizamos que fundar un curso en competencias implica transformaciones radicales que excluyen inclusive la posibilidad de modelos híbridos que pretendan combinar la educación basada en competencias con otros esquemas, e.g. por objetivos, basada en problemas, casos, etc. Con nuestro curso estamos viviendo de primera mano lo que varios autores [19] caracterizan para la educación basada en competencias: un cambio *paradigmático* (en el sentido de Kuhn) que afecta a todo el sistema educativo y que redefine para los actores involucrados su relación con el conocimiento y que requiere de un cambio de mentalidad. Esto naturalmente no ocurre de la noche a la mañana; este experimento completa ya un poco más de cinco años y se pueden notar algunos logros pero también diversas dificultades, algunas de las cuales hemos ya señalado.

Algunas lecciones de la práctica de este diseño subrayan retos importantes. Un aspecto que hemos encontrado persistente es que una buena parte de los estudiantes espera que el profesor “les enseñe”; esto representa un “corto-circuito” entre el equipo docente y los estudiantes que exige innovación y creatividad en el diseño e implementación de actividades y evaluaciones [24]. En particular las instancias de evaluación son retadoras para los estudiantes no sólo por la presión que generan sino también por lo extraño que les puede resultar el esquema frente a lo que están acostumbrados a enfrentar—este curso es el único del programa de pregrado que les exige aprobar todos los exámenes parciales. De hecho inclusive el curso encuentra dificultades en el reglamento general de la Universidad que exige que ningún examen de ningún curso puede tener “un peso” mayor al 35% de la calificación, norma que asume el supuesto de fraccionamiento parcial de evaluaciones que se suman en un promedio ponderado para obtener una calificación final.

También hemos encontrado que no es fácil para los estudiantes, acostumbrados a memorizar, a replicar técnicas y a buscar respuestas única y correctas, comprender que un examen puede tener una gran cantidad de “respuestas correctas y diferentes” que además impliquen calificaciones equivalentes; la tendencia a creer que se espera que se produzca “la” respuesta correcta, “la” solución, “el” modelo correcto, dificulta el desarrollo de las clases, la comprensión de los objetivos del curso y el desarrollo de las competencias. Esto se añade al hecho de que juzgar qué tan competente es una persona involucra el juicio de un “experto” [6], situación que a veces los estudiantes perciben como “evaluación subjetiva” que depende de quién califica; asegurar la consistencia de criterios entre calificadores y a lo largo del tiempo ha sido una de las tareas más enriquecedoras pero también más demandantes para nosotros. Más importante en este punto es señalar que al conceder preponderancia al juicio del evaluador se otorga

autoridad de conocimiento al profesor con el riesgo de menguar la posibilidad de que el estudiante tome un rol activo auto-crítico y en contravía de procesos educativos emancipadores y liberadores, una de las críticas que se encuentran a esquemas de competencias [18]. Adicionalmente la implementación de procedimientos sistemáticos de auto-evaluación institucional [7] es una de las tareas que nos falta por hacer para examinar específicamente el diseño del curso. Hay que reconocer también que si se entiende que una competencia es un complejo integral de conocimientos, recursos y actitudes entonces los métodos de evaluación podrían pensarse en términos de combinaciones de diversos instrumentos y no solamente a través de un solo tipo de instancia evaluativa [6]. Un último riesgo para mencionar es el señalado por Climent [10] quien advierte que las competencias pueden llegar a desalentar al estudiante por su énfasis en resultados.

Baartman propone diversos criterios para juzgar la calidad de evaluaciones basadas en competencias [6]: autenticidad (las evaluaciones deben asemejarse a situaciones que se enfrentan en la vida real), complejidad cognitiva, igualdad de oportunidades para estudiantes, valor significativo y con sentido para estudiantes y profesores, posibilidad de evaluar directamente el desempeño sin mediar traducciones de teoría a práctica, transparencia (las evaluaciones deben ser claras y comprendidas para todos los participantes), deben tener consecuencias para el proceso educativo, las decisiones deben ser reproducibles (estudiantes evaluados en múltiples ocasiones y con múltiples evaluadores). Según estos criterios, y a la luz de lo presentado, se puede pensar que vamos por buen camino aunque ya señalamos también las dificultades y fallas. Un último criterio de calidad sugerido también por Baartman es el de eficiencia, criterio que hemos encontrado difícil de realizar; la carga de trabajo que representa este esquema por parte de la institución educativa es notable; cada semestre se realizan exámenes nuevos cuyo diseño exige numerosas revisiones y discusiones; igualmente mantener la consistencia entre diferentes secciones del mismo curso y a lo largo del tiempo exige que tanto el diseño como la calificación de los exámenes sea minuciosa y con varias revisiones por parte de varias personas; se puede afirmar que de hecho este tipo de esquemas son por definición ineficientes, i.e. múltiples exámenes, múltiples evaluadores, exámenes nuevos cada semestre, evaluaciones que requieren juzgar integralmente un desempeño y no simplemente verificar una respuesta única, etc. Aunque siempre se puede cuestionar dicho criterio; parafraseando a Ackoff, seguramente es preferible intentar ser ineficientemente efectivos en la tarea y no al revés [1].

Queremos recalcar que el diseño del curso reconoce que a los estudiantes no les toma el mismo tiempo desarrollar procesos educativos, y en particular alcanzar niveles de competencia; se pueden observar diferencias en el tiempo y esfuerzo que les toma a los estudiantes desarrollar las competencias; el desarrollo de competencias depende de las características individuales y singulares de cada estudiante, aspecto poco reconocido en los sistemas educativos que usualmente están anclados en ideas de promedios, agentes representativos y estandarización; la necesidad de reconocer “poblaciones” de estudiantes [8, 22, 23], es decir, grupos heterogéneos de *individuos*, y articular este reconocimiento con procesos pedagógicos es quizás uno de los retos más grandes. Destacamos también la relevancia de que las evaluaciones representen situaciones más auténticas y semejantes a la vida real en las que hay acceso a recursos y, de manera más importante, en donde el criterio de éxito es la efectividad en la acción por encima de la habilidad intelectual para dominar (y

muchas veces de forma descontextualizada) contenidos y conceptos que además se terminan promediando.

Este artículo no pretende teorizar ni ahondar en conceptualizaciones de procesos educativos; simplemente busca compartir un caso y la forma como se ha vendido aplicando. De hecho se viene reconociendo con cada vez más insistencia la enorme brecha que parece haber entre la investigación en educación y su relevancia para la práctica; se reconocen disociaciones entre programas (la práctica misma de la educación) y las elaboraciones teóricas enfocadas en medir, comprender y mejorar procesos educativos [9]; una de las razones para esta brecha puede ser la ausencia, en el diseño de cursos y programas, de referencias a situaciones concretas en las cuales se espera que un estudiante muestre su competencia en-acción, para no mencionar la conveniencia o inclusive necesidad de utilizar este esquema como posible principio organizador de procesos pedagógicos [19]. Los investigadores en educación se están concentrando cada vez más en la realización de intervenciones pedagógicas de prácticas educativas “en el mundo real” para estudiar “in situ” el alcance de teorías y sobrepasar así tradicionales perspectivas basadas en psicometría, “mediciones de aprendizaje” y evaluaciones de currículo [3, 19]. Sin embargo, en ningún momento queremos sugerir que el enfoque que presentamos sea una “panacea”. Falta mucho camino por recorrer y en general se reconoce en la literatura de educación que no hay suficiente claridad sobre cómo diseñar procesos que verdaderamente promuevan competencias de *estudiantes-en-situación* y *en-acción* [19] y mientras no avancemos en estos interrogantes los cuestionamientos a esquemas basados en competencias perdurarán, e.g. [18]. En todo caso, nuestro curso no es más que una conjetura que, desde un enfoque popperiano de conocimiento científico, no necesita de justificación o de “fundamento” filosófico. En últimas se sospecharía que un camino posible ha estado siempre al alcance de la mano y que intuitivamente se antoja casi obvio (aunque no por ello fácil de realizar): desarrollar competencias en entornos educativos no es diferente del desarrollo de otras competencias que ya conocemos como por ejemplo montar en bicicleta: ensayo y error, es decir, a los porrazos.

5. AGRADECIMIENTOS

Mucha personas han contribuido al diseño actual del curso; debemos mencionar especialmente al profesor Andrés Mejía quien ha sido el iniciador y motor detrás de este diseño. También a numerosas personas que han contribuido para que el curso se haya ido revisando y mejorando: Isaac Dyner, Luis Pinzón, Gloria Díaz, Fabio Díaz, Santiago Caicedo, Andrés Obando, Felipe Venegas, Lina Burgos, y a todos los monitores que han sido parte de este experimento. También agradecemos a un revisor anónimo cuyos comentarios nos motivaron a revisar y modificar algunas perspectivas e ideas iniciales.

6. REFERENCIAS

- [1] Ackoff, R.L. 2001. Or: After the Post Mortem. *System Dynamics Review*. 174, 341-346.
- [2] Acofi. 2005. Marco De Fundamentación Conceptual. Especificaciones De Prueba Ecaes Ingeniería Industrial, in Asociación Colombiana De Facultades De Ingeniería, Icfes-Acofi, Bogotá.

- [3] Akkerman, S.F., Bronkhorst, L.H., and Zitter, I. 2011. The Complexity of Educational Design Research. *Quality & Quantity*. DOI: 10.1007/s11135-011-9527-9.
- [4] Andrade, H. and Navas, X., *La Informática Y El Cambio En La Educación*. 2003: Abril 10 - 12, Monterrey, México.
- [5] Andrade, H. and Parra, C., *Esbozo De Una Propuesta De Modelo Educativo Centrado En Los Procesos De Pensamiento*. 1998: IV congreso Iberoamericano de Informática Educativa. Brasilia, Brasil.
- [6] Baartman, L.K.J., Bastiaens, T.J., Kirschner, P.A., and van der Vleuten, C.P.M. 2007. Evaluating Assessment Quality in Competence Based Education: A Qualitative Comparison of Two Frameworks. *Educational Research Review*. 2, 114–129.
- [7] Baartman, L.K.J., Prins, F.J., Kirschner, P.A., and van der Vleuten, C.P.M. 2007. Determining the Quality of Competence Assessment Programs: A Self-Evaluation Procedure. *Studies in Educational Evaluation*. 33, 258–281.
- [8] Bates, E., Dale, P.S., and Thal, D. 1995. Individual Differences and Their Implications for Theories of Language Development, in *Handbook of Child Language*, P. Fletcher and B. MacWhinney, Editors., Basil Blackwell: Oxford, UK. 96-151.
- [9] Broekkamp, H. and van Hout-Wolters, B. 2007. The Gap between Educational Research and Practice: A Literature Review, Symposium, and Questionnaire. *Educational Research and Evaluation*. 133, 203-220.
- [10] Climent, J.B. 2010. Reflexiones Sobre La Educación Basada En Competencias. *Revista Complutense de Educación*. 211, 91-106.
- [11] Ford, D., *System Dynamics as a Strategy for Learning to Learn*. 1998: Proceedings of the 16th International Conference of the System Dynamics Society, July 20 - 23, Québec City, Canada.
- [12] Forrester, J.W. *Industrial Dynamics*. Productivity Press, Cambridge, MA, 1961.
- [13] Forrester, J.W. 1985. "The" Model Versus a Modeling "Process". *System Dynamics Review*. 11, 133-134.
- [14] Forrester, J.W., *Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century*. 1994: Keynote Address for Systems Thinking and Dynamic Modeling Conference for K-12 Education, June 27-29, 1994, Concord, MA, USA.
- [15] Glass-Husain, W., *Teaching System Dynamics: Looking at Epidemics*. 1991: System Dynamics in Education Project. Massachusetts Institute of Technology.
- [16] Hernández, J.T., Caicedo, B., Caro, S., Duque, M., and Gómez, R., *Formar Ingenieros: Un Asunto De Tradición O De Ciencia*. 2004: Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes.
- [17] Hovmand, P. and O'Sullivan, J. 2008. Lessons from an Interdisciplinary System Dynamics Course. *System Dynamics Review*. 244, 479 - 488.
- [18] Hyland, T. 1997. Reconsidering Competence. *Journal of Philosophy of Education*. 313, 491-503.
- [19] Jonnaert, P., Masciotra, D., Barrette, J., Morel, D., and Mane, Y. 2007. From Competence in the Curriculum to Competence in Action. *Prospects*. 37, 187–203.
- [20] Kennedy, M., *A Taxonomy of System Dynamics Models of Educational Pedagogic Issues*. 2008: Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society, July 20 - 24, Athens, Greece.
- [21] Lizzio, A. and Wilson, K. 2004. Action Learning in Higher Education: An Investigation of Its Potential to Develop Professional Capability. *Studies in Higher Education*. 294, 469-488.
- [22] Mayr, E. 1969. Footnotes on the Philosophy of Biology. *Philosophy of Science*. 362, 197-202.
- [23] Mayr, E. 2002. The Biology of Race and the Concept of Equality. *Daedalus*. 1311, 89-94.
- [24] McDowell, L. 2001. Students and Innovative Assessment. *Commissioned paper for ILTHE Members Resource Area*. Institute for Learning and Teaching in Higher Education.
- [25] Medin, J. 2007. Modelado De Sistemas Dinámicos Y Educación En Ciencias E Ingeniería. *Latinamerica and Caribbean Journal of Engineering Education*. 12, 75-82.
- [26] Ospina, R. and D., L. 2005. Las Competencias. Nuevo Paradigma En La Educación Superior Para El Siglo Xxi. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*. 1, 63–73.
- [27] Ossimitz, G., *Teaching System Dynamics and Systems Thinking in Austria and Germany*. 2000: Proceedings of the 18th International Conference of the System Dynamics Society, August 6 - 10, Bergen, Norway.
- [28] Perkinson, H.J. *Learning from Our Mistakes: A Reinterpretation of Twentieth-Century Educational Theory*. Greenwood Press. , London. p 3-20, 163-190, Caps 1, 8, 1984.
- [29] Popper, K. *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*. Routledge and Kegan Paul, London, UK, 1963.
- [30] Popper, K. *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*. Oxford University Press, Oxford, UK, 1972.
- [31] Pruyt, E., *Making System Dynamics Cool II: New Hot Teaching and Testing Cases of Increasing Complexity*. 2010: Proceedings of the 28th International Conference of the System Dynamics Society, July 25 - 29, Seoul, Korea.
- [32] Saeed, K., *System Dynamics as a Technology of Learning for New Liberal Education*. 1997: (Working Paper) Worcester Polytechnic Institute.
- [33] Salas, D. and Olaya, C. 2009. No More "Learning": Selectionist Education for the Classroom., in Proceedings of the 21st Annual Meeting of the Human Behavior and Evolution Society. HBES: Fullerton, California State University, CA, USA.
- [34] Salas, D. and Olaya, C. 2010. Darwin En El Aula: Conjetura Sobre La Posibilidad De Una Educación Seleccionista. *12th International Conference on Philosophy of Education*. Universidad de los Andes, Colombia.
- [35] Schaffernicht, M. and Madariaga, P. 2010. What Is Learned in System Dynamics Education: A Competency-Based Representation Based Upon Bloom's Taxonomy, in Proceedings of the 28th International Conference of the System Dynamics Society.
- [36] Stermán, J. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill, Boston, MA, 2000.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Reflexiones sobre el diseño de experimentos con Dinámica de Sistemas en Educación.

José Ricardo Arismendi Santos

Ingeniero de Sistemas

Candidato a Magister

Universidad Industrial de Santander

Grupo Simon de Investigaciones

(57)6343377

Josericardo_as@hotmail.com

Hugo Hernando Andrade Sosa

MSc en Informática

Director grupo Simon de

Investigaciones

Universidad Industrial de Santander

(57)6343377

handrade@uis.edu.co

RESUMEN¹

Este artículo presenta una reflexión sobre el diseño de experimentos en trabajos e investigaciones que buscan el acercamiento del modelado y simulación con Dinámica de Sistemas (DS) a la educación.

En primera medida a manera de introducción se muestra el corrido investigativo del grupo Simon en el escenario educativo, revelando las necesidades actuales de formalización de las experiencias prácticas con estudiantes en el marco investigativo de investigación acción. Posteriormente se hace una revisión histórica del uso de DS en educación y del diseño de experimentos, identificando características, tendencias y objetivos de investigación. Finalmente se comparte la reflexión que hacen los autores sobre el tema esbozando hipótesis que guiarán el futuro del trabajo investigativo.

Palabras claves

Diseño de experimentos, experiencias, educación, sistémico, investigación acción.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace dos décadas El grupo Simon ha venido desarrollando un proceso investigativo soportado en trabajos a nivel de pregrado y posgrado, en los cuales se estudian, diseñan y construyen propuestas de tipo metodológico, útiles computacionales para modelar y simular, y guías conceptuales para el uso de la DS en escenarios educativos.

Como evidencia del trabajo, se cuenta con una colección amplia de modelos para el estudio de múltiples tópicos propios de los currículos de preescolar, básica, media, pregrado y posgrado; se ha desarrollado software especializado para la construcción de modelos y simulaciones, como es el caso de el Visor de simulaciones y Evolución[6]. También se han construido micromundos para el estudio de las ciencias (MAC's), y más recientemente juegos de simulación con el uso de tecnologías móviles para la toma de decisiones en ambientes productivos[12].

De la misma forma se han producido textos y guías para el uso de DS en actividades de aula, desde las más básicas que sirven de apoyo al desarrollo de temas o módulos en áreas aisladas hasta las que se enmarcan en proyectos institucionales y de proyección a las comunidades circundantes.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

¹ Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Bucaramanga, Colombia; en el marco del Noveno Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Bogotá 2011.

Los esfuerzos de varios años se han venido configurando con mayor claridad y solidez en la propuesta titulada: “*Difusión de la DS en la Escuela*” con aplicación en cursos de preescolar, básica y media en colegios colombianos, siendo presentada como una propuesta informática para la educación en el cambio, basada en ambientes de modelado y simulación[16].

En dicha propuesta la DS es asumida con dos fines básicos, el primero como disciplina en donde los individuos desarrollan competencias para el dominio de cada uno de sus lenguajes de representación y paradigmas de pensamiento, y el segundo como elemento apalancador en procesos de aprendizaje. La propuesta está dirigida a una población conformada por profesores, estudiantes y padres de familia, para la cual se sugieren actividades que dan gran valor a la relación profesor-estudiante. Además se identifican roles, responsabilidades, beneficios y alcances tanto para la organización escolar como para cada uno de los grupos participantes.

2. MARCO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

El ejercicio de investigación-acción asumido por el grupo Simon, exige una continua y permanente reflexión autocrítica sobre el trabajo realizado. Para el caso de la DS en educación la situación problemática a tratar se materializa en las prácticas escolares, *Figura*.

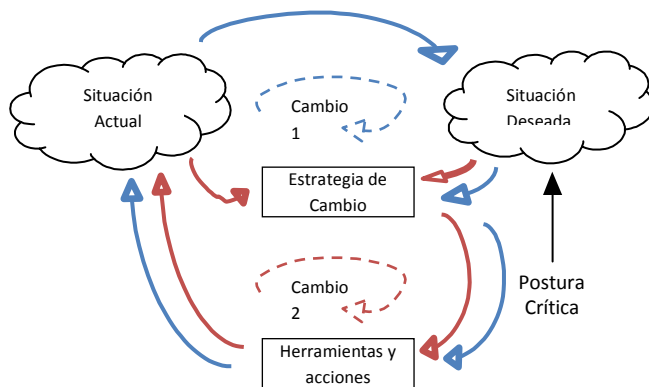


Figura 1. Metodología Investigación – acción.

Cada observación o aporte del proceso investigativo desencadena cambios que procuran el mejoramiento de la situación problema como consecuencia de la reflexión y el debate catalizado por la metodología de intervención, en este caso particular la metodología es soportada por la propuesta para difusión de la DS en la escuela. Esto es lo que se conoce como proceso *sistemático* y se convierte en la situación actual del problema de estudio, *Figura*.

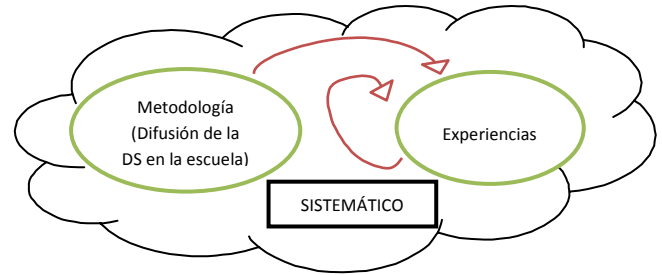


Figura 2. Situación actual.

El mejoramiento de la situación problema es fundamental, pues permite probar y refinar las prácticas académicas desarrolladas y los recursos computacionales y conceptuales a la luz de la metodología. Sin embargo el resultado investigativo requiere de la reformulación de la metodología misma, en un proceso denominado por Checkland como *Sistémico*[7], *Figura*.

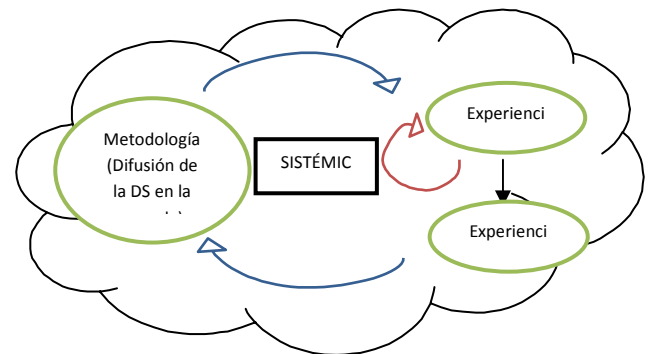


Figura 3. Situación deseada

Lograr este segundo proceso o nivel de la labor investigativa presenta mayor complejidad que el primero, pues comúnmente se desarrollan actividades y experiencias que logran solo el cambio en la situación problemática (prácticas escolares) sin generar cuestionamientos o refinamientos en la metodología. Esto puede ser consecuencia de la poca rigurosidad científica con la que se diseñan y conducen las prácticas o experiencias académicas entre profesores y estudiantes.

La formalización de dichas actividades puede producir transformaciones en las simples experiencias de aula, de tal manera que sean elevadas a la categoría de experimentos, con la implementación de técnicas cuantitativas y cualitativas, para brindar mayores elementos de juicio que enriquezcan el debate y la reflexión promoviendo transformaciones en la metodología.

Se considera que bajo este proceso investigativo guiado por lineamientos formales que orienten el diseño, seguimiento y registro de los experimentos en el ambiente escolar, es posible apreciar el cambio en la dinámica educativa como principal propósito del uso de la DS en la formación escolar; y así mismo verificar la *calidad* de los recursos informáticos que se desarrollan, teniendo como criterio de calidad su relación directa con el cumplimiento del propósito principal[5].

A partir del presente marco conceptual se decide darle continuidad al trabajo investigativo llevado a cabo al interior de Simon, tratando de resolver la pregunta: *¿Cuáles deben ser las orientaciones para el diseño de experimentos, que permitan apreciar los aportes de la Dinámica de Sistemas (DS) en los procesos de aprendizaje y de formación escolar?*

3. DINÁMICA DE SISTEMAS EN EDUCACIÓN

Desde que por primera vez Jay Forrester propuso la discusión sobre el uso de Dinámica de Sistemas en Educación[10], se inició una gran carrera en busca de orientaciones metodológicas para orientar la incorporación de la DS en este nuevo escenario.

Inicialmente el uso de DS en educación estuvo limitada a estuantes universitarios, pero a partir de los años 80 empieza a incursionar en escuelas con el trabajo realizado por Forrester y sus colaboradores en el MIT con el proyecto K-12. Replicas de este trabajo realizado en Estados Unidos fueron llevadas a cabo en países como Noruega, Alemania y Japón.

Gould-Kreutzer[11] manifiesta que los ejercicios de introducción de la DS en el mundo se pueden clasificar en dos categorías: los enfocados en educación y sistemas educacionales para niños entre 8 y 18 años de edad y los que se enfocan en el nivel universitario o educación para adultos.

El primer artículo publicado de un modelo con DS aplicado a educación fue realizado por Nancy Roberts en 1974, en el cual utilizó el software DYNAMO.

De igual manera investigadores como Richmond[17], Davidsen, Bjurklo y Wikstrom[8] y Draper[9], a través de sus trabajos y experiencias pioneras han brindado elementos que fortalecieron y viabilizaron la propuesta en diversos campos y niveles educativos.

Las indudables ventajas que ofrece la DS en el proceso de enseñanza y aprendizaje, han motivado la construcción de múltiples propuestas para su inserción en la educación. Para dar algunos ejemplos se pueden mencionar tres proyectos desarrollados en Estados Unidos¹⁸, los cuales han sido enfocados al uso del modelado con Dinámica de Sistemas en escuelas de primaria y secundaria. Ellos son el “*Model It*” en Michigan’s Highly Interactive Computing Laboratory (Soloway et al, 1997), El “*CC-SYSTAIN*” fundado por la National Science Foundation (Zaraza & Fisher, 1997; Zaraza, Joy, & Guthrie, 1998) y el STACIN en Educational Testing Service (Mandinach & Cline, 1994, 1996).

STACIN surgió del proyecto ACOT (Apple Classroom Of Tomorrow) en los años 80. La experiencia se inició en una escuela secundaria en el estado de Vermont, posteriormente se unieron seis escuelas de San Francisco (cuatro de secundaria y dos de primaria) y una más de Arizona. Se usó el software Stella.

Los informes finales del proyecto, revelan que cerca de cuarenta profesores fueron capacitados para implementar en su currículo

la DS, entre los grados 5° y 12°. En las escuelas primarias (de 5° a 8° grado) se trabajó en las áreas de ciencias, matemáticas y estudios sociales y en secundaria (de 9° a 12° grado) se trabajo en humanidades.

CC-SUSTAIN nace en los 90 como un proyecto de implementación de la DS en educación con gran cobertura. En su primera etapa capacita cerca de 150 profesores de escuelas secundarias para implementar el modelado con DS usando el software Stella en su currículo. Posteriormente los docentes trabajaron con sus estudiantes en la construcción de modelos en muchas áreas, principalmente en ciencias, matemáticas y estudios sociales. Posteriormente en la segunda etapa del proyecto fueron capacitados más de 240 docentes.

MODEL-IT es un componente software del proyecto ScienceWare del laboratorio de investigación Highly Interactive Computing (Hi-C) de la universidad de Michigan. Este proyecto fue diseñado para el aprendizaje de las ciencias en escuelas de primaria y secundaria.

En Colombia y América Latina se puede referenciar entre otros, el trabajo realizado por el grupo Simon en la Etapa de Formación y Acompañamiento (EFA) del proyecto Computadores para Educar. Su participación inició en el 2004 y se extendió hasta el 2009, llevando la DS a cerca de 2000 sedes educativas de preescolar, básica y media (43 en 2004, 153 en 2005, 206 en 2006, 298 en 2007, 455 en 2008 y 683 en 2009), en 9 departamentos del país. Este trabajo ha dejado como principal producto, la consolidación de una red de profesores de diversas localidades de la región Caribe colombiana que mejoran sus habilidades con DS y construyen proyectos en sus instituciones educativas con uso del modelado y la simulación.

4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN DINÁMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas por su naturaleza es implícitamente de tipo experimental, sin embargo ha requerido de la implementación de técnicas y metodologías experimentales para facilitar la identificación clara de los resultados obtenidos cuando las personas trabajan con esta propuesta metodológica.

Es así como gracias a los aportes de algunos investigadores se han ido esbozando lineamientos que han permitido formalizar el accionar experimental con DS, orientando la realización de las experiencias a manera de laboratorios experimentales.

Los estudios experimentales se iniciaron en el MIT con el trabajo realizado por Sterman en los 80[19][20][21], inicialmente para probar modelos comportamentales y luego para desarrollar la hipótesis de mis-percepciones de ciclos de realimentación a partir del juego de la cerveza.

Posteriormente se siguieron desarrollando experimentos de laboratorio con otros objetivos y en otros campos. Por ejemplo el trabajo realizado por Moxnes y otros en Noruega para estudiar el tema de mis-percepciones en bio-economía, analizando el problema de los comunes en pesqueras y renos, y el trabajo Realizado por Arango y otros para el estudio de la dinámica de mercados, especialmente en el sector eléctrico.

Aunque son numerosos los laboratorios experimentales realizados en el mundo con el uso de DS, el objetivo

¹⁸ Tomado de:

<http://www.c5.cl/ieinvestiga/actas/ribie2000/charlas/alessi.htm>

generalizado que ha motivado los trabajos ha sido el estudio del impacto de la DS en la toma de decisiones en ambientes dinámicos y complejos con ciclos de realimentación importantes, como lo mencionan Moxnes y Arango[14].

De este tipo de estudio es posible mencionar el trabajo realizado por Moxnes en el 2000[13] para analizar el problema de los recursos renovables.

En 2004 Cárdenas y Ostrom[4] exploran la posibilidad de conducir experimentos en campo con usuarios reales de ecosistemas locales, generando aprendizajes relacionados con la toma de decisiones para un manejo sostenible de los recursos comunes en tales escenarios.

En 2007 Arango y Moxnes[1], presentan los resultados de un experimento de laboratorio para estudiar el comportamiento cíclico de los precios en mercados eléctricos no regulados.

En 2008 Ariza[2] experimenta con juegos de simulación para promover el aprendizaje guiado por la cooperación en el uso de recursos comunes, desde la experiencia concreta del estudio de la Piangua¹⁹, en el mismo año Sawicka y Kopainsky[18] replicaron los experimentos realizados por Moxnes en 2004 en administración del liquen de los renos en los pastizales de invierno. La experiencia experimental permitió a Moxnes y Arango[14] sintetizar las características principales que identifican a los experimentos de laboratorio en tres elementos básicos: un objetivo (pago), un conjunto de restricciones (descripción del sistema, reglas de comportamiento) y el comportamiento de los participantes (decisiones). El experimentador controla el objetivo y las restricciones, para observar el comportamiento.

En 2009 fue realizado por Moxnes y Jensen[15] un estudio experimental con el objetivo de determinar si el excesivo consumo de alcohol por parte de los jóvenes puede ser provocado por mis-percepciones de realimentación que no permiten entender la dinámica de concentración de alcohol en la sangre (BAC) en la cual existe una acumulación temporal de alcohol en el estómago que retrasa la absorción del sistema circulatorio. Hey John D., Neugebauer Tibor y Sadrieh Abdolkarim, presentan un estudio experimental para observar la toma de decisiones en el proceso de extracción de peces en una pesquera que cuenta con un solo propietario.

5. REFLEXIÓN

El uso de DS en educación ha venido ganando espacios y el interés de muchos alrededor del mundo. De los resultados publicados es posible identificar características que tipifican las experiencias realizadas:

- El objetivo principal ha sido el de evaluar los alcances y aportes de la DS en el proceso de aprendizaje de Estudiantes en diferentes niveles de formación.
- Las experiencias más comunes han contemplado actividades para el estudio de temas particulares en algunas áreas, principalmente en matemáticas y ciencias.

- Las actividades se han realizado con el fin de probar modelos o aplicaciones computacionales construidas para los fines educativos.
- Las experiencias han sido conducidas en cursos o grupos individuales de estudiantes, en algunos casos han sido replicadas en otros cursos o instituciones educativas, en muy pocos casos con cobertura total de la población estudiantil de los planteles educativos.
- Se identifica el uso de técnicas que suministran, instrumentos para medir el desarrollo de competencias específicas de los estudiantes que han sido expuestos a estímulos de aprendizaje con DS. En algunos casos se evidencia el uso de técnicas cualitativas y cualitativas de investigación para dar mayor validez externa a los resultados.
- En varios casos se ha tenido intervención directa por parte de los investigadores o expertos de DS en los grupos de estudiantes que reciben el tratamiento experimental, en otros se ha incluido un proceso de formación docente en DS.
- Las publicaciones han concentrado su atención en presentar hallazgos en el proceso de aprendizaje o de desarrollo de competencias específicas de los sujetos participantes del experimento. De esta manera se brinda muy poca información acerca del diseño experimental utilizado, posiblemente porque no sea un tema de relevancia en la presentación de resultados o porque aún existe gran informalidad en este aspecto.
- No se identifican lineamientos generales que orienten la realización de las experiencias de investigación con DS, que asumen las actividades escolares como un escenario experimental.

Por otra parte, las experiencias conducidas de manera formal como laboratorios experimentales en DS se han caracterizado por:

- El objetivo principal ha sido el de evaluar o probar modelos o aplicaciones computacionales desarrolladas como útiles para el desarrollo de competencias en la toma de decisiones.
- Los trabajos se han concentrado principalmente en situaciones problemáticas relacionadas con la industria y la economía. Algunos de ellos han tenido aplicación directa en el sector empresarial.
- Las experiencias de tipo académico se han realizado principalmente con estudiantes universitarios y/o de posgrado.
- Las actividades se diseñan a modo de laboratorios experimentales controlados, en los que seleccionan los participantes con ciertas características definidas por el experimentador, posteriormente son sometidos al tratamiento experimental en laboratorios o salas de cómputo aislados de la realidad es estudio.
- No se considera el uso de laboratorios experimental en el contexto real del fenómeno, por las limitadas condiciones de control que se pueden tener.
- Generalmente los experimentos han sido desarrollados en tiempos relativamente cortos, usando técnicas de los cuasi-experimentos que permiten obtener resultados confiables en periodos breves de tiempo.

¹⁹ La “Piangua” como se conoce en Colombia, Ecuador y Costa Rica, se encuentra también en Perú y México, en donde se le conoce con el nombre de “Concha negra” y “Pata de mula”, respectivamente. La piangua, Anadara tuberculosa, es un molusco bivalve asociado a las raíces del mangle.

- En varios estudios se incluye el concepto del valor inducido²⁰, para motivar ciertos comportamientos en los individuos que impriman mayor control al experimento.
- Se usan como sujetos experimentales, personas con cierto nivel académico o desarrollo de competencias para tomar decisiones en el mundo real, tales como estudiantes universitarios, profesionales, inversionistas, empleados y empresarios. En otros casos para aumentar la validez externa²¹ de los resultados, se han realizado laboratorios experimentales con personas reales del contexto, dando relevancia y vital importancia a la experiencia de los sujetos con el objeto de estudio. Como ejemplo se puede referenciar el trabajo realizado por Cárdenas y Ostrom en el 2004[4].

6. COMENTARIO FINAL

La necesidad de formalizar las prácticas educativas que incorporan el uso del modelado y la simulación con DS, exige la definición de lineamientos que asuman técnicas que permitan el control de las variables durante el desarrollo experimental. Sin embargo es igualmente necesario desarrollar las prácticas in situ, donde se puedan realizar observaciones que capturen y registren situaciones y momentos que fluyen de la interacción entre estudiantes en sus ambientes cotidianos de formación y que son fundamentales e influyentes en el proceso de aprendizaje.

De esta forma se crea el contexto propicio para el desarrollo del marco metodológico de trabajo asumido por el grupo Simon, que traza como objetivo general el llevar la Dinámica de Sistemas a la escuela en su ambiente natural, promoviendo cambios institucionales que transformen las prácticas educativas.

El salón es un escenario donde se viven experiencias de tipo social fundamentales en el proceso de aprendizaje y enseñanza, convirtiéndose en un sistema integral en el cual interactúan múltiples elementos o partes que no pueden ser estudiadas de manera independiente o aisladas fuera del sistema operando. **Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Este planteamiento de Brown, orienta el estudio del aprendizaje mediante actividades o experiencias experimentales donde los estudiantes bajo la dirección de sus profesores actúan en comunidades de aprendizaje y se hacen cargo de su propio proceso educativo.

7. REFERENCIAS

- [1] ARANGO, S. & MOXNES, E. 2007. "Cyclical Behaviour in Electricity markets: An Experimental study". International System Dynamics Conference, July, MIT, Boston, USA. 2007.

²⁰ El concepto de valor inducido es la utilización de un incentivo que permita al experimentador inducir características específicas en los sujetos participantes de los experimentos (Friedman y Sunder, 2004).

²¹ La validez externa es la generalización de los resultados de un experimento a situaciones no experimentales, así como a otros participantes y poblaciones (Sampieri, 2006).

- [2] ARIZA, G. "Aprendizaje para la cooperación asistido por juegos de simulación Dinámico-Sistémicos". Tesis de Maestría en Ingeniería área de Informática y Ciencias de la Computación, Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Industrial de Santander 2008.
- [3] BROWN, A. "Design Experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom setting". The journal of the learning sciences, 1992.
- [4] CÁRDENAS, J & OSTROM, E. "What do people bring into the game? Experiments in the field about cooperation in the commons". Agricultural Systems 82, pp. 307-326. 2004.
- [5] CATALDI, Z. "Metodología de diseño, desarrollo y evaluación de software educativo". Tesis de Magíster en Informática. Facultad de Informática. Universidad Nacional de la Plata (UNLP). Argentina, 2000.
- [6] CUELLAR, M. y LINCE, E. "Evolución 3.5 Herramienta software para el Modelamiento y Simulación con Dinámica de Sistemas". Tesis de pregrado. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia, 2003.
- [7] CHECKLAND, P. & SCHOLLES J. "Soft Systems Methodology in Action". Editorial Jhon Wiley and sons. Chichester, 1990.
- [8] DAVIDSEN, P; BJURKLO, M; WIKSTROM, H. "Introducing System Dynamics in School: The Nordic Experience". System Dynamic Review Vol 9. No 2, pp. 165-181. Summer, 1993.
- [9] DRAPER, F. "A Proposed Sequence for Developing Systems Thinking in a grade 4-12 Curriculum". System Dynamics Review Vol 9. No 2, pp. 207-214. Summer, 1993.
- [10] FORRESTER, J.W. Industrial Dynamics. Cambridge, Mass: Productivity Press, 1961.
- [11] GOULD-KREUTZER, J. "Foreword: System Dynamics in Education". System Dynamics Review Vol 9. No 2, pp. 101-112. Summer, 1993.
- [12] GUERRA, L. y RIOS C. "Ambiente software integrado por un juego para teléfonos móviles, un sitio web y una aplicación para computador personal, para el aprendizaje y toma de decisiones". Tesis de pregrado. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia, 2011.
- [13] MOXNES, E. "Not Only the Tragedy of the Commons: Misperceptions of Feedback and Policies for Sustainable Development". System Dynamics Review No 2, pp. 325-348. 2000.
- [14] MOXNES, E. y ARANGO S. "Experimentos de Laboratorio en Dinámica De Sistemas". Dinámica de

Sistemas: casos y aplicaciones en Latinoamérica Talca: Capítulo Latinoamericano de la sociedad de Dinámica de Sistemas 2008.

- [15] MOXNES, E & JENSEN L. "*Drunker tan Intended: Misperceptions and Information Treatments*". Drug and Alcohol Dependence 105, pp. 63-70. 2009.
- [16] NAVAS, X. "*Propuesta informática para la educación en el cambio, basada en ambientes de modelado y simulación. Un enfoque sistémico*". Tesis de maestría. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia, 2006.
- [17] RICHMOND, B. "*System Thinking Skills the 90s and Beyond*". System Dynamics Review Vol 9. No 2, pp. 113-133. Summer, 1993.
- [18] SAWICKA, A. & KOPAINSKY, B. "*Simulation-Enhanced Descriptions of Dynamic Problems: Initial Experimental Results*". International Conference of the System Dynamics Society. Athens, Greece. 2008.
- [19] STERMAN, J. "*Testing Behavioral Simulation Models by Direct Experiment*". Management Science, 1987.
- [20] _____. "*Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of feedback in a Dynamic Decision Making Experiment*". Management Science 35 321-339. 1989.
- [21] _____. "*Misperceptions of feedback in Dynamic Decision Making*". Organizational Behavior and Human Decision Processes 43(3) 301-335. 1989.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo de Dinámica de Sistemas para evaluar una política baja en carbono para Colombia

System Dynamics modeling for assessing a low carbon policy in Colombia

Carlos J. Franco

Universidad Nacional de Colombia

cjfranco@unal.edu.co

Yris Olaya

Universidad Nacional de Colombia

yolaya@unal.edu.co

Oscar Fernández

Universidad Nacional de Colombia

oscar.fernandez@epm.com.co

Juan D. Velásquez

Universidad Nacional de Colombia

jdvelasq@bt.unal.edu.co

Laura M. Cárdenas A.

Universidad Nacional de Colombia

lmcardenasa@unal.edu.co

Isaac Dyner

Universidad Nacional de Colombia

idyner@yahoo.com

RESUMEN

La política baja en carbono para Colombia que recientemente se expide a través de un documento CONPES plantea retos sobre las modificaciones que puedan requerirse en aspectos de regulación, de tecnología, de gestión de la demanda y, en general, del entorno competitivo de la industria de generación eléctrica, así como de los sectores intensivos en el consumo de electricidad. En este sentido, no es claro aún cuáles deban ser los cambios estructurales que se deban adoptar al interior del sector eléctrico Colombiano ni cuales sean las oportunidades que pueda ofrecer esta política. En este entorno, el presente artículo propone abordar la problemática de esta política, con el apoyo de Dinámica de Sistemas, a través de la internalización de los costos de emisiones y de la evaluación de sus efectos sobre la generación de electricidad.

Palabras clave

Política baja en carbono, cambio climático, sector eléctrico, dinámica de sistemas.

ABSTRACT

The low carbon policy for Colombia that was recently issued by a CONPES document sets out challenges about changes that may be required with respect: regulation, technology, demand management and, in general, the competitive environment of the power generation industry, as well as the electricity-intensive sectors. In this way, it is not clear what would be structural changes to be adopted within the Colombian electricity sector. And, also, what are the opportunities that this policy may offer? In this environment, this paper intends to deal with this problem, with the support of System Dynamics, through the internalization of the emissions costs; aiming to assess their effects on the electricity generation.

Keywords

Low carbon policy, climate change, electricity sector, system dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado la preocupación mundial por el Cambio Climático y el impacto que éste pueda tener en Colombia. La magnitud y el alcance de las manifestaciones del problema empiezan a tener efectos en todos los lugares del globo terrestre. Las sequías, el deshielo de los glaciares, el efecto devastador de los huracanes y las crecientes inundaciones, son sólo algunas de las manifestaciones que afectan gravemente a los países en las diferentes partes del mundo (UNFCCC, 2005). El estudio y conocimiento de los efectos de cambio climático en

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Colombia es todavía precario y la política para contrarrestarlo sólo se expidió a mediados del presente año.

Dichas manifestaciones en cambios del clima han promovido acuerdos internacionales que, como el Protocolo de Kyoto, buscan la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por medio del uso de tecnologías limpias y el incremento de eficiencia en el consumo de energía. Para lograr este objetivo dichos acuerdos crearon mecanismos como el Mecanismos de Desarrollo Limpio y el Comercio de Emisiones (PNUMA y UNFCCC 2002).

El primero de estos mecanismos favorece a países en desarrollo, como Brasil, Argentina y Colombia, entre otros, y consiste en llevar a cabo proyectos que certifiquen reducciones de emisiones en países en desarrollo (Olsen, 2007).

El segundo mecanismo consiste en el intercambio comercial de bonos de carbono, el cual ha promovido la creación de diferentes esquemas, destacándose el Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS) que abarca el 76% del mercado mundial de carbono (World Bank Institute, 2010).

Este artículo evalúa de manera preliminar lo que pueda significar para Colombia el dirigirse, con compromiso y decisión, hacia una economía eléctricamente baja en emisiones de carbono y, al mismo tiempo, evaluar los efectos que esto pueda tener sobre el sector eléctrico de este país.

En este sentido, este artículo hermano de otro que presentamos al IX Congreso Latinoamericano, se enfoca en la comparación de la evolución de las tecnologías y en las emisiones de CO₂ en los diferentes escenarios examinados. De esta manera, en este documento enmarcamos la discusión de la siguiente manera: primero, señalamos el planteamiento de la internalización de costos en el sector eléctrico; seguidamente, se esboza una hipótesis dinámica de cómo se abordaría dicha problemática a través de la inclusión de permisos de emisión; posteriormente, se presenta una aplicación de las políticas estudiadas al caso colombiano y; por último, se presentan los resultados preliminares

de simulaciones y las correspondientes conclusiones del ejercicio de aplicación.

2. MERCADOS ELÉCTRICOS E INTERNALIZACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES

En los últimos 20 años y en muchos países, la electricidad se convirtió en un bien transable y negociable entre diversos agentes, en condiciones de libertad regulada (Stoft, 2002; Sioshanshi and Pfaffenberger, 2006).

En este entorno de liberalización económica se busca balancear la política pública y los mercados libres, estos últimos internalizando los costos ambientales, y alejando la creciente amenaza del cambio climático.

A continuación se presenta una hipótesis dinámica donde se plantea cómo una posible forma de internalización de los costos de emisión puede llevar a transformaciones del sector eléctrico, a través de la utilización de tecnologías de generación más limpias, apuntando, de esta manera, a una política baja en carbono.

3. HIPÓTESIS DINÁMICA

A nivel mundial una de las políticas que más ha influenciado los sectores económicos para la reducción de carbono, ha sido la internalización de costos de emisiones, ya sea a modo de permisos para emitir gases de efecto invernadero o la incorporación de éstos a los costos de producción. Para el caso del sector eléctrico, esto significa incrementos en los costos de generación de tecnologías intensivas en emisiones de GEI, lo cual tiene efecto sobre el precio de la electricidad.

En la Figura 1 se presenta una hipótesis dinámica de una política de internalización de costos de emisiones de GEI en el sector eléctrico apostando a sociedades bajas en carbono en el continente.

Esta hipótesis consta de 4 ciclos: tres de ellos son de balance y uno es de refuerzo.

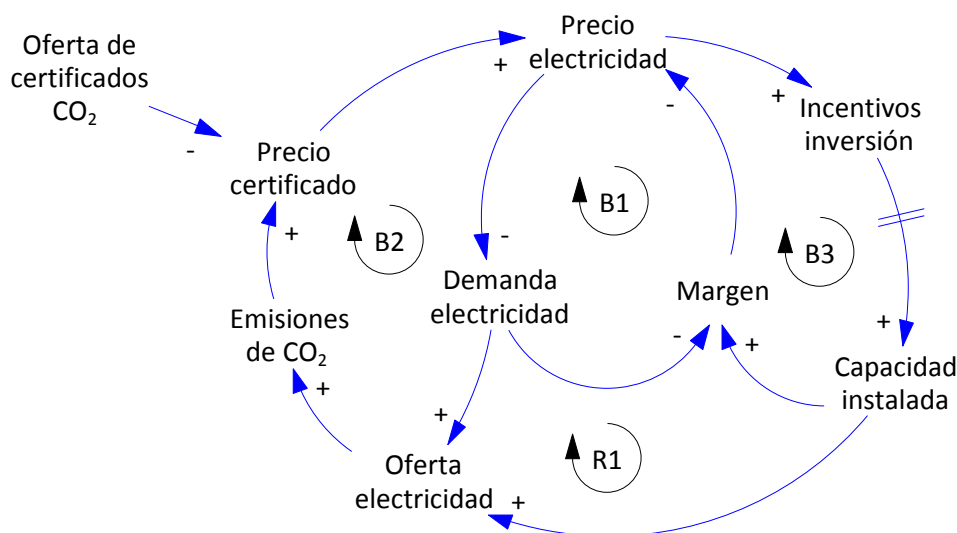


Figura 1. Hipótesis dinámica de internalización de costos de emisión en el sector eléctrico

El primer ciclo es el ciclo de balance -B1- indica que a mayor demanda de electricidad, disminuye el margen de capacidad, produciendo un efecto opuesto sobre el precio de la electricidad, el cual, a su vez, influye sobre la demanda, de manera negativa. El ciclo B2 presenta cómo una mayor demanda, junto con una mayor disponibilidad de generación, conllevan una mayor oferta de electricidad, lo cual induce mayores emisiones, pues se hace necesario acudir a tecnologías contaminantes. De esta manera, se hace necesario hacer uso de certificados de emisión, ocasionando costos adicionales en la generación de la electricidad, aumentando así el precio de la misma, lo cual tiene un efecto contrario sobre la demanda.

El ciclo B3 representa cómo la capacidad instalada está influenciada en la posibilidad que tienen las generadoras de invertir en nueva capacidad a partir de los mayores ingresos que se pueden dar por el incremento en el precio de la electricidad. Esta capacidad adicional, fruto de las inversiones en generación, incrementan el margen del sistema, con efecto negativo sobre el precio de la electricidad.

Por último, se presenta cómo la capacidad instalada y la demanda jalonan la oferta de la electricidad, dinamizando el mercado de los certificados de emisión.

4. EVALUACIÓN DE POLÍTICAS PARA LA REDUCCIÓN DE CARBONO EN COLOMBIA

Con base en la hipótesis dinámica antes planteada, con respecto a la internalización de costos de emisión, se construyó un modelo de simulación para analizar senderos que puedan conducir a una economía baja en emisiones de carbono. El modelo de dinámica de sistemas se parametrizó, con los datos del sector eléctrico colombiano, para realizar simulaciones durante el periodo comprendido entre 2013 y 2035, bajo los siguientes escenarios:

- Escenario base (business as usual): no hay presencia de certificados de carbono para los generadores de electricidad que usan combustibles fósiles.
- Mercado de carbono: se propone que los generadores que contaminen tienen acceso a certificados de emisión de carbono. Se aplica la ley de quien contamina paga.
- Estímulos: en este escenario se establece que el estado provee estímulos a los generadores que utilicen tecnologías limpias (ej: PCHs, eólica y solar). Estos estímulos se conceden pagando un precio especial a la generación que utiliza tecnologías limpias. Este sobreprecio para el sistema, deberá pagarse a través de mayores cobros por el precio de electricidad en bolsa.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados preliminares bajo los distintos escenarios descritos en la sección anterior. Las oscilaciones corresponden a los ciclos que se dan por efecto de las decisiones de inversión modeladas.

La figura 2 presenta la penetración de la hidroenergía en el mercado para cada uno de los escenarios analizados. La dinámica tanto en el escenario base como el de mercado es la misma. En el escenario de estímulos hay una menor penetración de esta tecnología en comparación con los otros escenarios, sin embargo la tendencia es aumentar en los tres casos analizados.

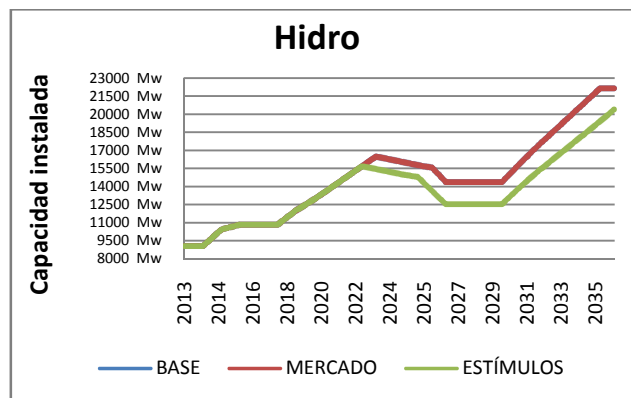


Figura 2. Capacidad instalada en hidroenergía en los tres escenarios.

En la figura 3 se presentan los resultados para los tres casos de la penetración de la tecnología eólica. Los resultados presentan que tanto en el escenario de mercado como en el base hay una tendencia a aumentar la capacidad muy leve, por el contrario, en el escenario de estímulos la apropiación de esta tecnología es bastante intensa.

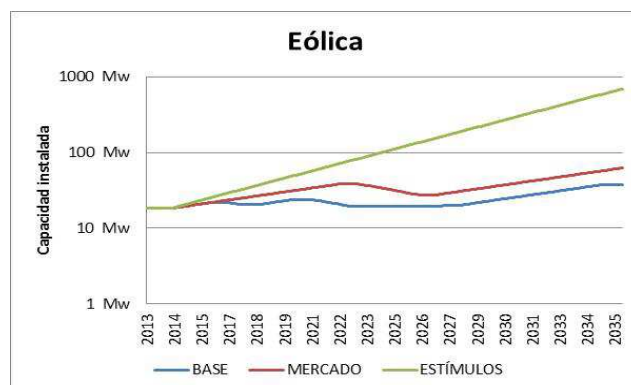


Figura 3. Capacidad instalada eólica en los tres escenarios (escala logarítmica).

En la figura 4 se encuentran los resultados que se obtuvieron para la tecnología solar en los casos analizados. Al igual que con eólica, se observa una tendencia bastante pronunciada al aumento en el escenario de estímulos.

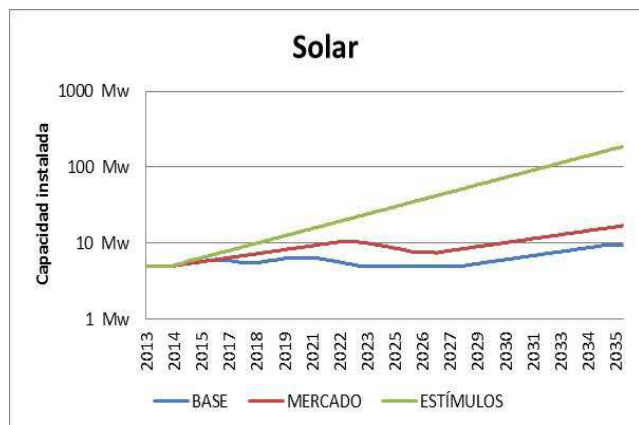


Figura 4. Capacidad instalada solar en los tres escenarios (escala logarítmica).

La figura 5 presenta las emisiones totales para cada uno de los escenarios. Si bien la dinámica es muy parecida en los tres casos analizados, se observa que en el escenario de mercado logran establecerse en ciertos periodos de tiempo, emisiones más bajas que en los demás escenarios. En esta figura se observa que durante los años 2021 y 2024 no se dan emisiones en ninguno de los escenarios, dicho comportamiento se debe al auge que tiene la tecnología hidráulica, la cual logra desplazar a las demás tecnologías y apoderarse del mercado, sin embargo, debido a los ciclos de instalación y desinstalación de capacidad, logran entrar nuevamente las tecnologías basadas en combustibles fósiles en el mercado, lo cual hace que aumenten las emisiones en el sistema. En la versión ampliada de artículo se analizan alternativas de políticas que llevan tendencialmente a reducción en emisiones de carbono.

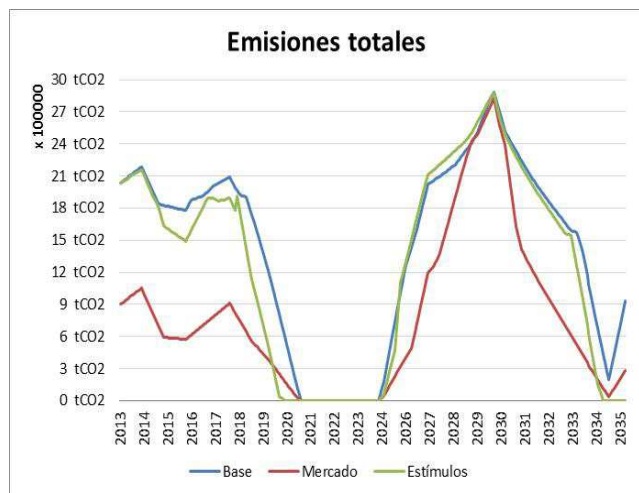


Figura 5. Emisiones del sector eléctrico en los tres escenarios.

6. CONCLUSIONES

Los resultados presentados son solo indicativos, por tratarse de un trabajo preliminar. De acuerdo a esto, los resultados presentan tendencias sobre la composición en la capacidad instalada para un país que considera políticas que buscan la reducción de emisiones de carbono.

Dentro de las políticas estudiadas se estableció la premisa “quien contamina paga”, es decir, que las tecnologías basadas en combustibles fósiles deberán incluir en sus costos la adquisición de certificados para generar; otra de las políticas consistió en instaurar estímulos para las tecnologías renovables (eólica y solar), de manera que se dé, de manera más enfocada, un impulso al desarrollo de tecnologías limpias.

Los casos estudiados ilustran que si bien bajo un escenario de mercado las emisiones pueden ser más bajas en ciertos periodos de tiempo, dicha política no es lo suficientemente fuerte para dar un impulso a tecnologías bajas en carbono como sí lo logra un escenario basado en estímulos.

7. REFERENCIAS

- [1] Bartz, S. & Kelly, D.L., 2008. Economic growth and the environment: Theory and facts. *Resource and energy economics*, 30(2), pág.115–149.
- [2] CEC, 2009. DIRECTIVA 2009/29/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, Brussels: CEC.
- [3] Collantes, G.O., 2007. Incorporating stakeholders' perspectives into models of new technology diffusion: The case of fuel-cell vehicles. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(3), pág.267–280.
- [4] Departamento Nacional de Planeación DNP (1999). Plan Colombia. Sector de Energía. Bogotá.
- [5] Department For International Development. DFID. (2005) “Guías Sobre Medios de Vida Sostenibles MVS”. http://www.livelihoods.org/info/info_guidanceSheets.html
- [6] Millán Jaime. Entre el Mercado y el Estado: tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina. Departamento de desarrollo sostenible. Banco Interamericano de desarrollo. Washintong. DC. 2006.
- [7] Narayan P and Smith R (2009). Multivariate granger causality between electricity consumption export and GDP. Evidence from a panel od Meddle Eastern countries. *Energy Policy*.
- [8] Negro, S. & Hekkert, M., 2010. Seven typical system failures that hamper the diffusion of sustainable energy technologies.
- [9] Olsen, 2007. The clean development mechanism's contribution to sustainable development: a review of the literature. *Climatic Change* 84, no. 1 (May): 59-73.
- [10] PNUMA y UNFCCC. «Para comprender el Cambio Climático: Guía Elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto.» 2002.
- [11] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2003). Informe sobre desarrollo humano. 2003. <http://www.undp.org/dpa/spanish/energia.htm>

- [12] Rao, K.U. & Kishore, V.V.N., 2009. A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [13] Schwarz, N. & Ernst, A., 2009. Agent-based modeling of the diffusion of environmental innovations—An empirical approach. *Technological forecasting and social change*, 76(4), pág.497–511.
- [14] Sioshansi Fereidoon & Pfaffenberger Wolfgang (2006). *Why Restructure in Electricity Markets?. Electricity market Reform: An International Perspective*. Edited by Sioshansi & Pfaffenberger. Elsevier. London. Great Britian.
- [16] Sterman, J D, and L B Sweeney. «Cloudy skies: Assessing public understanding of global warming.» *System Dynamics Review* 18, n° 2 (2002): 207-240.
- [17] Stoft Steven (2002). *Power System Economics: Designing Markets for Electricity*. Wiley Inter-Science. IEEE.
- [18] UNFCCC. *Cuidar el clima, Guía de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto*. Bonn, Alemania: Secretaría de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), 2005.
- [19] World Bank Institute. «State and Trends of The Carbon Market 2010.» 2010.
- [20] Word Bank. (2003) “Beyond Economic Growth. Meeting the Challenges of Global development”. <http://www.worldbank.org/depweb/beyondsp/contents.html>. 2003 World Energy Council. «Regional Energy Integration in Latin America and the Caribbean Executive Summary.» Londres, 2008.
- [21] Zachmann, G, and C Von Hirschhausen. «First Evidence of Asymmetric Cost Pass-Through of EU Emissions Allowances: Examining Wholesale Electricity Prices in Germany.» MIT CEEPR - Center for Energy and Environmental Policy Research, 2007.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Mejorando el proceso de aprendizaje de los principios de la macroeconomía usando el modelo económico clásico como herramienta pedagógica

Jair Andrade Ortiz

Universidad Industrial de Santander
jandraor@simon.uis.edu.co

Hugo Andrade Sosa

Universidad Industrial de Santander
handrade@uis.edu.co

Urbano Gómez Prada

Universidad Industrial de Santander
urbanoeliecer22@hotmail.com

RESUMEN¹

En este artículo se presenta el proceso de construcción de un modelo macroeconómico hecho con dinámica de sistemas (DS), basado en el modelo clásico económico descrito en los libros introductorios a la macroeconomía. Usando las herramientas que proporciona la DS, se integran los conceptos que subyacen en el modelo clásico, haciendo explícita la compleja red de interacciones inherentes a los sistemas sociales, y las condiciones en las cuales opera. De esta manera el modelo clásico es contextualizado, reconociendo las limitaciones y restricciones a las que está sujeto. A partir de este reconocimiento, el proceso de aprendizaje es mejorado, debido a que el estudiante, además de comprender los principios macroeconómicos, puede determinar los casos en que el modelo clásico es pertinente, es decir, distingue entre la realidad y la teoría.

Palabras clave

Dinámica de sistemas, macroeconomía, modelo clásico, política monetaria, prototipos.

1. INTRODUCCIÓN

La crisis del 2008, llamada la “Gran Recesión” [1], ha puesto un manto de duda sobre las concepciones teóricas que han orientado las políticas económicas y, más aún, se culpa a estas concepciones de haber sido responsable de la “Gran Recesión”, que dejó como resultado decenas de millones de personas sin empleo y en la pobreza. Esta concepción teórica es conocida como el modelo

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá – Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

clásico²³. Este modelo ha sido objeto de críticas, especialmente por el nobel de economía, Joseph Stiglitz [1], quien cuestiona a aquellos que la predicen y la defienden como verdad única y absoluta, llamándolos “fundamentalistas del libre mercado”. La base de la crítica de Stiglitz se haya en la cantidad de supuestos asumidos por el modelo clásico, los cuales simplifican la realidad de tal manera que ocasiones los resultados obtenidos en ocasiones son absurdos como por ejemplo la negación del desempleo.

A pesar de los cuestionamientos, el modelo clásico como se observa en los textos introductorios a la macroeconomía de Mankiw [2], Sachs [3] y Krugman [4], es de gran utilidad para la enseñanza de la macroeconomía debido a que simplifica la complejidad mediante supuestos de condiciones ideales que permiten al estudiante comprender los elementos básicos de la economía.

Este tipo de modelos es semejante a los modelos usados en la enseñanza de los principios de la mecánica newtoniana. Con el fin de que los estudiantes comprendan los elementos fundamentales, se utilizan modelos que operan en condiciones especiales, y a medida que avanzan en los cursos, la complejidad crece, introduciendo nuevos conceptos.

¹ Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática - UIS. Bucaramanga, Colombia; en el marco del 9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2011. Mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON: <http://simon.uis.edu.co/>

²³ Modelo basado en los supuestos de que los salarios y los precios se ajustan para equilibrar los mercados y de que la política monetaria no influye en las variables reales [2].

Por lo tanto, la utilidad de estos modelos radica principalmente en que facilitan el aprendizaje de los conceptos, en vez de hacer una representación exacta de la realidad. De ahí la importancia de reconocer la pertinencia de los modelos que se usan. Por ejemplo, de la misma manera que quien diseña un misil no lo debería hacer basado en un modelo de condiciones ideales, ya que se podría poner en peligro vidas humanas, quien diseña una política económica no lo debería hacer basado en un modelo de condiciones ideales que puede llevar a una economía a tener una tasa de desempleo elevada.

Después de haber resaltado el valor pedagógico del modelo clásico, es necesario asumir una visión holista del fenómeno económico, integrando los conceptos del modelo clásico para que el estudiante logre ver una pintura amplia de la macroeconomía, y no sólo unos pequeños pincelazos.

La enseñanza tradicional tal como se observa en los libros introductorios a la macroeconomía mencionados anteriormente, se hace por medio de gráficas de oferta y demanda, la cual permite entender los conceptos que allí se reflejan pero que son limitadas cuando la complejidad de la teoría es mayor.

A pesar de los supuestos simplificadores usados en el modelo clásico, éste no deja de ser complejo, de modo que la enseñanza tradicional fracciona las explicaciones en gráficas simples de oferta y demanda, las cuales no describen claramente los procesos dinámicos que ocurren en la interacción de dos elementos. Por ejemplo cuando el sistema está en equilibrio y algún shock externo lo aleja de éste, a simple vista no se aprecian las fuerzas que intervienen en el sistema para que retorne a su estado original.

Por consiguiente, se resaltan dos falencias en la enseñanza tradicional del modelo clásico: la contextualización del modelo y la integración de los elementos que hacen parte del modelo. Y es a partir de estas falencias donde la DS puede jugar un rol que complementa la enseñanza tradicional, facilitando a los estudiantes la comprensión de los fenómenos macroeconómicos.

Este aporte de la DS se fundamenta en su interés de comprender la complejidad dinámica de los sistemas por medio de la metodología para modelar que provee, enfocada en explicar la estructura de los fenómenos que se intenta representar. A través del proceso de construcción del modelo, quien lo realiza descubre paulatinamente las relaciones que hay en el sistema, las estructuras de realimentación y las limitaciones que presenta la teoría, permitiendo que pueda distinguirla de la realidad. Sin embargo se podría inferir que este proceso de modelado requeriría de habilidades matemáticas avanzadas, lo que podría ser el palo en la rueda en el proceso de aprendizaje.

No obstante, una de las ventajas que ofrece la DS, es que quien hace uso de ella, requiere simplemente entender conceptos elementales tales como relaciones de influencia, flujos, niveles, entre otros, que son familiares a su entorno. Por ejemplo por medio de un diagrama de influencias se puede explicar la estructura del sistema-modelo que explica un fenómeno, en este caso comprender por qué los sistemas retornan a su equilibrio, después de que un shock externo afecta al sistema, y más aún, las condiciones que se deben dar para que suceda. De esta manera la enseñanza tradicional se complementa, dado que la DS amplía la concepción de los postulados económicos por medio de la

contextualización de los elementos del sistema y haciendo explícitos los procesos dinámicos que ocurren dentro de él.

De acuerdo a la problemática planteada y a la manera en que la DS puede abordarla, se desarrolla el presente trabajo. En primer lugar, se hace mención a trabajos realizados que de alguna manera han motivado este proyecto y han cimentando las bases, proporcionando una orientación de lo que se desea lograr, en este caso mejorar los procesos de aprendizaje de los principios de la macroeconomía. A continuación se presenta el proceso de construcción del modelo, el cual ha sido dividido en tres prototipos de cobertura y complejidad creciente, los cuales representan los postulados del modelo económico clásico. Finalmente se hacen las conclusiones del trabajo realizado, resaltando los aportes de la DS en el mejoramiento del proceso de aprendizaje.

2. TRABAJOS PREVIOS

Este trabajo se orienta por el anhelo del grupo SIMON de innovar y mejorar la educación, amparado por el paradigma del Pensamiento Sistémico. Bajo este paradigma se quiere ampliar el espectro del conocimiento, que éste no sólo abarque a un grupo reducido de expertos, sino a comunidades con diferentes perspectivas, las cuales puedan enriquecer el espacio académico.

Por este motivo en el grupo SIMON se ha trabajado en la investigación de herramientas pedagógicas que complementen la enseñanza tradicional con el objetivo de incentivar en el estudiante el deseo de aprender.

Producto de esta investigación, se destacan los proyectos realizados en el de ámbito económico, en donde se recrean diversas teorías económicas por medio de la DS. Mediante la colaboración interdisciplinaria de estudiantes de economía e ingeniería de sistemas se hicieron tesis de pregrado, en las cuales se abordaron el crecimiento de Harrod [5], el modelo ricardiano [6] y la perspectiva malthusiana [7]. Sin embargo, de éste último y de los trabajos realizados por Ricardo Jaimes y Jaime Mejía sobre el modelamiento de fenómenos económicos basado en la teoría Keynesiana [8], Eliécer Pineda y Adriana Lizcano sobre el ciclo económico de Adam Smith [9], se resalta un aporte adicional, dar la posibilidad a un público con habilidades matemáticas básicas, interactuar con modelos construidos con DS, permitiéndoles evaluar sus modelos mentales a través de la simulación computacional de los elementos del modelo en diferentes escenarios, obteniendo conclusiones por medio de la confrontación entre los resultados obtenidos y los resultados esperados.

Por otra parte, el trabajo de David Wheat [10] en la Universidad de Bergen (Noruega) ha realizado contribuciones valiosas en el campo de los procesos de aprendizaje de la macroeconomía. En su tesis de doctorado demostró el aporte que hace la DS a la educación tradicional en los cursos introductorios a la macroeconomía, bajo el soporte de un modelo macroeconómico que toma las diferentes corrientes del pensamiento económico.

Con base en las anteriores contribuciones, el presente trabajo se propone realizar aportes con el fin de mejorar los procesos de aprendizaje de los principios macroeconómicos, a través de la representación del modelo clásico económico por medio de la

DS, para ser usado como herramienta pedagógica que permita a los estudiantes comprender los procesos dinámicos que describe la teoría, y cuáles son las condiciones requeridas para que ésta se ajuste a la realidad.

3. MODELO ECONÓMICO CLÁSICO DESDE UNA PERSPECTIVA SISTÉMICA

A pesar de los supuestos simplificadores que asume el modelo clásico, éste exhibe un complejo tejido de elementos entrelazados causalmente. Por tal razón, el proceso de modelado se hace mediante prototipos de complejidad creciente [11] en el cual la comprensión del fenómeno se aborda de manera gradual y progresiva, gracias al sistema de lenguajes que proporciona la DS (lenguaje en prosa, diagramas de influencias, diagramas de flujo-nivel y el lenguaje de los resultados simulados). Este proceso iterativo da como resultado versiones de modelos susceptibles de mejorar en cada iteración.

Sin embargo, al existir numerosas posibilidades para realizar el proceso de modelado, es necesario definir una orientación metodológica que coincida con el objetivo planteado para la construcción del modelo. En este caso es la “Metodología para el aprendizaje” [11], cuyo énfasis radica en la reflexión sobre los modelos mentales del estudiante, viviendo un proceso de formalización mediante la realización de ejercicios de modelado con DS.

Después de definir el proceso de modelado y la orientación metodológica, a continuación se presenta cada uno de los prototipos en términos de los lenguajes que provee la DS, construidos en base a las descripciones realizadas del modelo clásico en los textos introductorios a la macroeconomía de Mankiw [2] y Sachs [3].

4. PRIMER PROTOTIPO: PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS

La construcción del modelo comienza por la representación de la oferta agregada: los factores que intervienen en la producción de bienes y servicios. En el modelo clásico, la producción depende de tres factores: el capital, el trabajo y la tecnología.

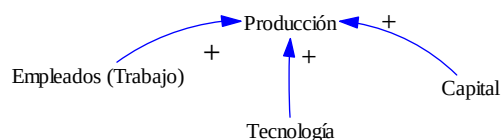


Figura 1. Factores de producción

Como se puede observar en la figura 1 la producción de bienes y servicios aumenta cuando alguno de los factores aumenta. De esta manera la enseñanza tradicional inicia la explicación de la oferta agregada, asumiendo el capital y el trabajo como elementos endógenos, mientras que la tecnología es asumida como un factor exógeno positivo. Sin embargo, cuando se profundiza en cada uno de los factores endógenos (capital y trabajo), éstos son aislados, lo que provoca que su estudio sea limitado a una pequeña porción, ignorando la totalidad de la que hacen parte.

La DS contribuye a superar la falta de integración, mediante su visión sistémica de los fenómenos, priorizando la visión en el todo más que en sus partes. En la figura 2 se observa el diagrama de influencias que representa la oferta agregada.

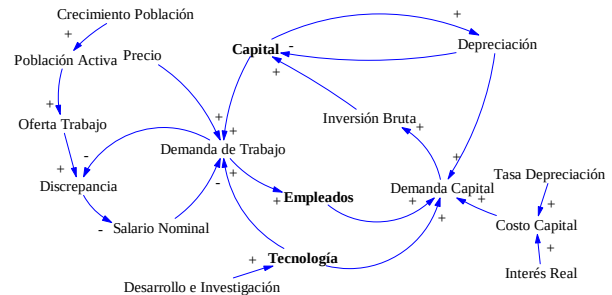


Figura 2. Oferta agregada

En este diagrama se integran los elementos que afectan a los factores de producción y las relaciones de influencia entre ellos. Se destaca el efecto positivo que ejerce la tecnología sobre la demanda de capital y trabajo, ya que el desarrollo tecnológico eleva la productividad de los factores endógenos, dando como resultado un deseo de aumentar los stocks de capital y trabajo por parte de las empresas.

Asimismo, se aprecia el ciclo de realimentación positivo presente en la demanda de capital y de trabajo. Un incremento en algunos de los factores endógenos hace que la demanda por el otro factor endógeno sea mayor. Esto se debe a que si una empresa compra maquinaria (capital) se hacen necesarios trabajadores para que puedan operarla. Del mismo modo que si la empresa contrata mano de obra (trabajo), a éstos se les debe proporcionar las herramientas necesarias para que desarrollen su labor.

De tal manera que a partir de un diagrama de esta naturaleza, ya no sólo se abordan elementos puntuales de cada factor, sino por el contrario, se aprecia el rol de cada uno de ellos en un contexto más amplio, en la dinámica del sistema del cual hacen parte.

Por otra parte, la integración no es la única falencia que presenta la educación tradicional. Una característica que define al modelo clásico es la flexibilidad de precios y salarios que posibilita a los mercados equilibrarse, es decir, que la demanda sea o tienda a ser igual a su oferta. No obstante, las gráficas tradicionales de oferta y demanda presentan problemas tales como “variables omitidas” y “causalidad invertida” [4], lo cual limita la concepción dinámica del modelo, ocasionando que el estudiante no comprenda los conceptos, o peor aún, que los comprenda de una manera equivocada.

La figura 3 es un ejemplo de cómo la educación tradicional aborda los procesos dinámicos que ocurren en la economía, en este caso, el mercado laboral. En el eje de ordenadas se muestra el salario nominal que cobran en promedio los trabajadores por su trabajo y en el eje de abscisas la cantidad de empleados contratados. La curva vertical representa la oferta de trabajo y la curva con pendiente negativa representa la demanda de trabajo.

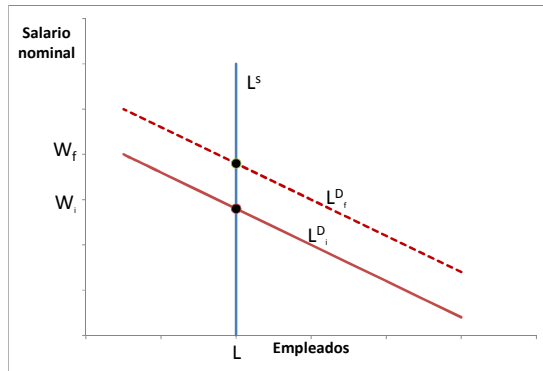


Figura 3. Equilibrio del mercado laboral

Inicialmente el mercado se encuentra en equilibrio en el punto (L , W_i). En este punto la cantidad de trabajo que quieren contratar las empresas es igual a la cantidad de trabajo que ofrecen las personas. Este equilibrio puede ser afectado por un shock externo que desplaza la curva de demanda a la derecha (por ejemplo, un aumento en las empresas del stock de capital o un aumento en la tecnología, hace que la demanda de trabajo se incremente) y el mercado se equilibra de nuevo en el punto (L , W_f). Sin embargo, en la gráfica no se aprecia el proceso dinámico que ocurre en el sistema para que el mercado se equilibre de nuevo; por el contrario, aparentemente el mercado se equilibra gracias a la acción de una “mano invisible”, tal como lo expresó uno de los exponentes de la economía clásica: Adam Smith.

Por lo tanto, la gráfica no es suficiente para ilustrar la explicación de los fenómenos económicos completamente y es necesario acudir a herramientas que la complementen, como pueden ser las herramientas que provee la DS.

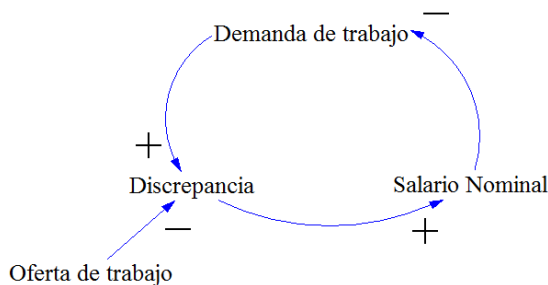


Figura 4. Estructura de realimentación en el mercado laboral

Entre esas herramientas, se encuentran las estructuras genéricas, de las cuales se pueden inferir los comportamientos del sistema. La **figura 4** es una representación del mercado de trabajo que presenta una estructura de realimentación negativa, descrito por Aracil y Gordillo [12].

La característica particular de esta estructura es que el sistema corrige de forma autónoma las perturbaciones que tienden a separarlo del comportamiento deseado.

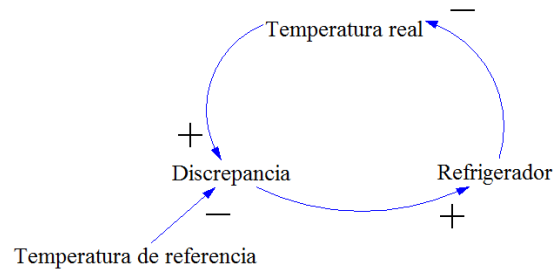


Figura 5. Estructura de realimentación de un regulador de temperatura

Pero sin duda alguna, un aspecto importante de esta estructura, es que no es exclusiva al mercado de trabajo, sino que por el contrario, es una estructura presente en diversos sistemas. En la **figura 5** se observa un diagrama de influencias que representa un sistema regulador de temperatura (por ejemplo un salón con aire acondicionado) el cual comparte la estructura de ciclo de realimentación negativa con el mercado de trabajo. De esta manera, durante el proceso de aprendizaje los estudiantes asimilan los conceptos nuevos mediante la comparación con conceptos que ya han sido comprendidos con anterioridad. En este caso, el estudiante realiza el símil entre el refrigerador y el salario nominal, los cuales son los elementos que permiten al sistema regularse.

Adicionalmente, el estudiante es consciente de las condiciones que deben existir para que el sistema se regule por sí mismo. Retomando la comparación con la temperatura, si un salón no posee el refrigerador, la temperatura real será diferente a la deseada; mientras que si en el mercado de trabajo los salarios nominales no se ajustan, la economía presentará desempleo. De tal manera que el estudiante además de entender el mecanismo por el cual el sistema se regula, contextualiza el modelo, es decir, comprende la condición para que se ajuste a la realidad.

Por otro lado, la DS provee un lenguaje que permite formalizar los planteamientos teóricos mediante simulaciones computacionales a partir de diagramas de flujo-nivel donde se evalúa el comportamiento del sistema en diferentes escenarios. Por consiguiente, el diagrama de influencias de la **figura 2** se transforma en un diagrama de flujo-nivel, usando la herramienta software Evolución 4.1²⁴. Con el fin de continuar con el ejemplo del mercado de trabajo, en la **figura 6** se muestra parte del diagrama flujo-nivel de la oferta agregada, que corresponde a dicho mercado, construido en base al modelo básico de oferta y demanda de la guía de estudio de DS, “Road Maps” [13].

²⁴ Es un software que permite modelar y simular fenómenos complejos con DS desarrollado por el Grupo SIMON.

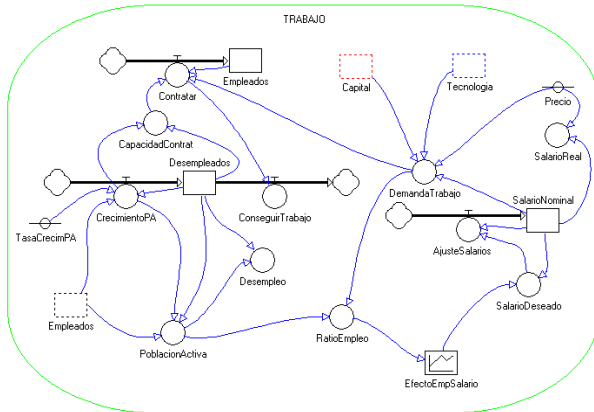


Figura 6. Diagrama flujo-nivel del mercado de trabajo

El diagrama está construido sobre la base de los elementos que determinan tanto la oferta como la demanda de trabajo. La variable “RatioEmpleo” es la discrepancia de la **figura 4**, la cual afecta el nivel “SalarioNominal” para que el sistema se equilibre. Para comprobar este comportamiento, se realiza la simulación del sistema en diferentes escenarios, cada uno con una tasa de interés diferente, es decir, que hay shocks sobre la demanda de trabajo, por lo que se espera que el salario nominal regule el mercado y exista desempleo.

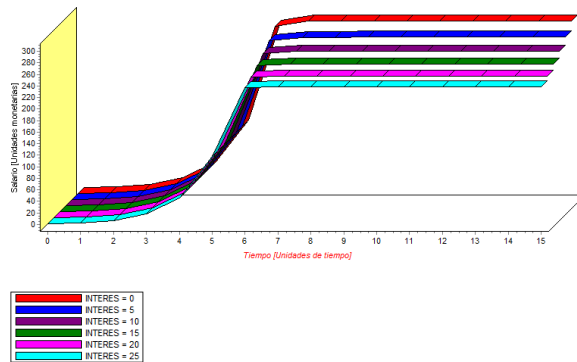


Figura 7. Comportamiento del salario nominal ante shocks en la demanda de trabajo

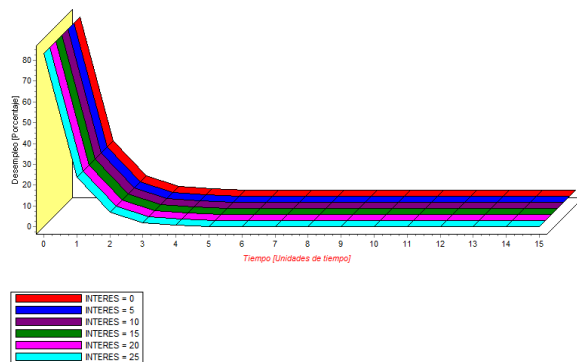


Figura 8. Comportamiento del desempleo ante shocks en la demanda de trabajo

A la luz de los resultados, se comprueba que en un mercado donde el salario nominal se ajusta a las condiciones del mercado no hay desempleo, confirmando de esta manera el comportamiento esperado.

Hasta este punto, se han mostrado las herramientas que provee la DS con el fin de ayudar al estudiante a comprender los procesos dinámicos del modelo clásico y las condiciones en las que éste se puede ajustar a la realidad. Por lo tanto, no es la “mano invisible” la que regula el mercado, sino los elementos y la estructura dentro del mismo que permiten que este absorba cualquier shock externo y así, mantener el equilibrio.

En el transcurso de los siguientes prototipos, se apelará al uso de las mismas herramientas, mostrando su utilidad en la enseñanza de los fundamentos del modelo clásico.

5. SEGUNDO PROTOTIPO: DEMANDA DE BIENES Y SERVICIOS

Después de haber considerado los determinantes de la producción de bienes y servicios, se avanza hacia la otra cara de la moneda, la compra o demanda de aquellos bienes.

En este prototipo se recrea la demanda agregada, la cantidad total que está dispuesta a gastar los diferentes sectores de una economía cerrada²⁵ en un determinado periodo. Sin embargo, la preocupación al involucrar la demanda agregada en la economía, consiste en que ésta se equilibre con la oferta agregada, es decir, que todo lo que se produce sea comprado.

Con el propósito de entender cómo la economía en su conjunto se equilibra, primero es necesario ver cómo está estructurada la demanda agregada. Una economía cerrada utiliza de tres formas distintas los bienes y servicios que produce: consumo, gasto gubernamental e inversión. De acuerdo con el modelo clásico, las dos primeras son factores exógenos que corresponden a las decisiones de los hogares y a la política fiscal del gobierno; mientras que la inversión es un elemento que hace parte del sistema, y de un nuevo mercado: el mercado de fondos prestables, donde el ahorro es la oferta, la inversión es la demanda y la tasa de interés es el precio.

En consecuencia, la tasa de interés equilibra el mercado de fondos prestables y a su vez el mercado de bienes y servicios. Por lo tanto, la complejidad dinámica del modelo es mayor, requiriendo mayor comprensión por parte de los estudiantes. No obstante, la enseñanza tradicional aborda esta complejidad de la misma manera que el mercado de trabajo, por medio de gráficos de oferta y demanda, exhibiendo falencias en integración y en comprensión de la dinámica de los fenómenos.

De nuevo, se apelará al uso de las herramientas que proporciona la DS con el fin de complementar las falencias que presenta la enseñanza tradicional.

²⁵ Economía que no participa en el comercio internacional [2]

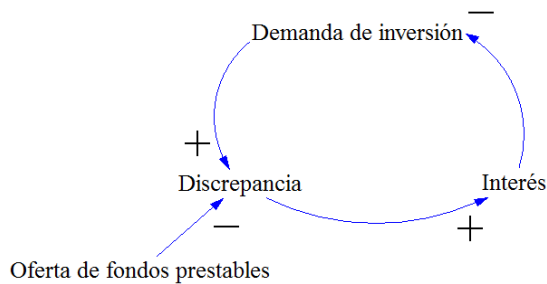


Figura 9. Estructura de realimentación en el mercado de fondos prestables

En la **figura 9** se muestra el mecanismo por el cual el mercado de fondos prestables se equilibra. Esta estructura es equivalente a la estructura de regulación del mercado laboral y a su vez, a la de un sistema de refrigeración, por lo que el estudiante está en capacidad de entender la dinámica del mercado de fondos prestables. Una vez más el estudiante es consciente de la condición necesaria para que el sistema se equilibre y pueda hacer la comparación con la realidad.

Por otro lado, la DS mediante su enfoque sistémico, da la posibilidad de abordar la falencia que presenta la enseñanza tradicional, la integración, debido a que las gráficas de oferta y demanda se ven restringidas cuando el modelo aumenta en complejidad. En este caso, cuando se estudia el mercado de fondos prestables, no se ve observa la integración que hay con la producción de bienes y servicios. Por lo tanto, se acude de nuevo a las herramientas que provee la DS.

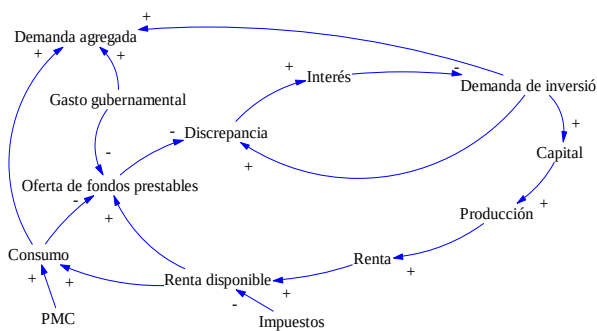


Figura 10. Demanda agregada

La **figura 10** es un diagrama de influencias que contiene los elementos de la demanda agregada según el modelo clásico, integrado con elementos de la producción de bienes y servicios. A partir de un diagrama de esta naturaleza, se pueden explicar detalles puntuales de la demanda agregada, sin olvidar que hace parte de un sistema y los efectos pueden tener sobre el mismo. Por ejemplo, se aprecia el efecto positivo que tiene la inversión sobre la economía, ya que aumenta el stock de capital y asimismo la producción y la renta, lo cual significa un mejor nivel de vida en términos económicos.

Por consiguiente, el diagrama de influencias además de su simplicidad, tiene la ventaja de ser una herramienta con la cual quien explica, puede abordar diferentes conceptos, siempre recordando que hacen parte de una totalidad.

Luego de identificar los elementos de la demanda agregada y las relaciones entre ellos, se procede a formalizar el modelo en un diagrama de flujo-nivel con el propósito de verificar el comportamiento del sistema. Del segundo prototipo se muestra en la **figura 11**, el diagrama que representa el mercado de fondos prestables construido en base al modelo de oferta y demanda del “Roadmaps”.

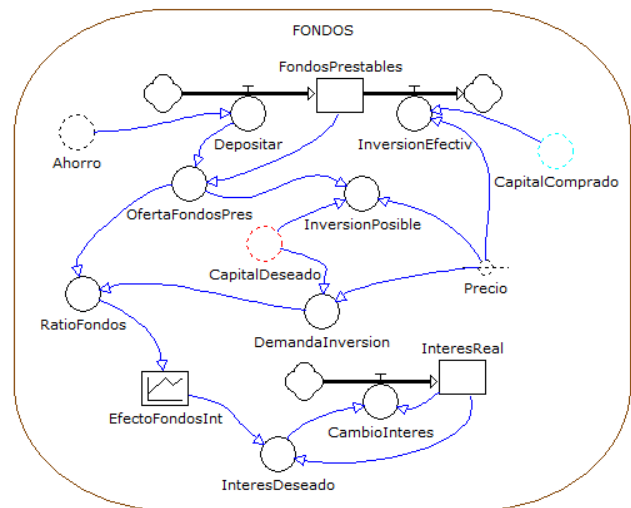


Figura 11. Diagrama flujo-nivel del mercado de fondos prestables

Para evaluar el comportamiento del sistema se retoma el ejemplo mencionado anteriormente, en donde por medio de la herramienta software Evolución 4.1 se analiza la producción ante diferentes tasas de consumo (o de ahorro) con el fin de observar la conexión entre la demanda agregada y oferta agregada.

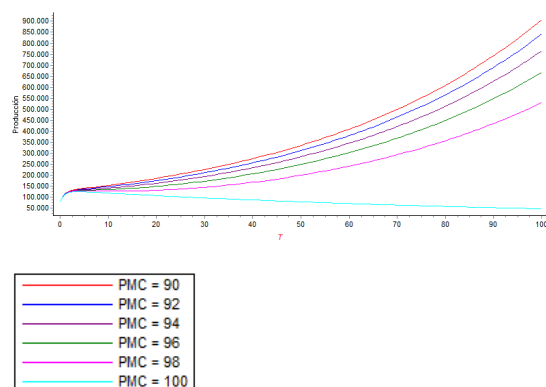


Figura 12. Comportamiento de la producción ante diferentes tasas de consumo

Los resultados obtenidos concuerdan con lo expuesto en el modelo clásico, en donde a menores tasas de consumo (o mayores tasas de ahorro) la economía se ve beneficiada ya que las empresas tienen mayor disponibilidad de fondos para invertir en el

stock de capital. Por lo cual, las decisiones de los compradores influyen en las decisiones de los productores.

En resumen, las herramientas de la DS permiten complementar la enseñanza la tradicional de los fundamentos de la demanda agregada de diferentes formas. Primero ayuda al estudiante a entender la complejidad dinámica del modelo, por medio de la comparación con estructuras que ha asimilado anteriormente. Segundo permite al estudiante ser consciente de los elementos que dan la posibilidad al sistema autorregularse, de manera que pueda distinguir si tales elementos están presentes en la realidad. Finalmente, a medida que la complejidad del modelo crece, mediante las herramientas de la DS, se pueden integrar los diferentes conceptos de la macroeconomía sin perder de vista la totalidad de la que hacen parte.

Hasta el momento, en cada prototipo se ha asumido la estabilidad de precios, por lo tanto la economía que se ha analizado es una economía real en la cual se asume que el pago de productos se hace con productos.

6. TERCER PROTOTIPO: MEDIO DE PAGO Y VARIACIÓN DE PRECIOS

Finalmente se introducen dos elementos del modelo clásico: el medio de pago y la variación de precios. Con la inclusión de estos elementos se hace la transición hacia una economía en la cual está presente la variación de precios debido a los cambios en la cantidad del medio de pago circulante. Al realizar la transición de una economía con variables reales a una economía con variables nominales, la red de la relaciones entre los elementos se hace mayor, por lo que la predicción de los comportamientos del sistema se hace compleja.

A pesar del incremento en la complejidad del modelo, la educación clásica aborda la inclusión del dinero y la variación de precios mediante una sencilla igualdad.

$$M * V = P * Y$$

Donde **M** es la cantidad del medio de pago (dinero); **V** es la tasa a la que circula el dinero; **P** es el nivel de precios; y **Y** es la producción total de la economía.

A partir de esta ecuación, la educación tradicional explica el efecto de los cambios en la oferta monetaria sobre variables nominales, sin afectar variables reales como la producción o el poder de compra de los salarios. Sin embargo para que esto suceda, dentro del sistema ocurren procesos dinámicos los cuales no son explicados en la ecuación. Por otra parte, no hay integración con los conceptos trabajados hasta el momento, por lo cual no se observa cómo encaja el dinero dentro de los mercados ni cómo se equilibra la economía.

Tal y como se han abordado estos problemas en los prototipos anteriores, en este se hace uso de las herramientas de la DS con el fin de complementar la educación tradicional, comenzando por el diagrama de influencias.

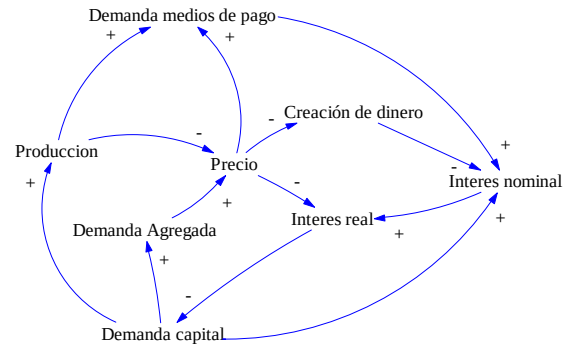


Figura 13. Integración del dinero y la variación de precios en la economía

La **figura 13** es un diagrama de influencias construido con el fin de mostrar la complejidad que presenta una economía cuando se integra la demanda agregada, la oferta agregada y el dinero. A diferencia de la igualdad presentada por la educación tradicional, en el diagrama se aprecian los elementos que afectan a la tasa de interés nominal y a la tasa de interés real (en el prototipo anterior no había distinción entre ambas tasas debido a que no había variación de precios). Por lo tanto, se evidencia la dificultad de controlar la tasa de interés real por medio del control de la oferta monetaria, que en últimas es el elemento que equilibra la economía.

Por consiguiente, de acuerdo con el modelo clásico, el control de la oferta monetaria se debe hacer con el propósito de estabilizar el nivel de precios, ya que ésta puede afectar variables reales pero no controlarlas. En palabras de Milton Friedman, el objetivo del control de la oferta monetaria (o política monetaria) es prevenir que el dinero sea una fuente de perturbaciones económicas [14]. De tal manera que la política monetaria del modelo se construye bajo estas premisas.

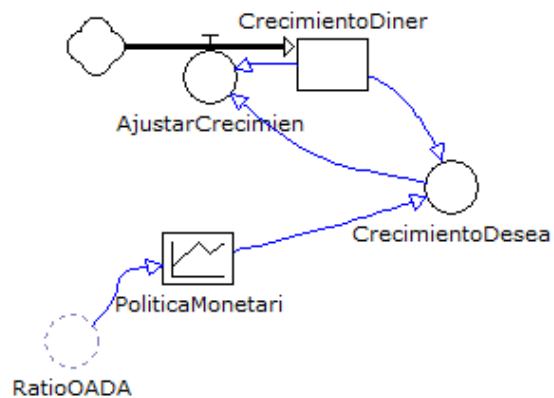


Figura 14. Política monetaria enfocada en la estabilidad de precios

La **figura 14** muestra el diagrama de flujo-nivel que representa la política monetaria, la cual tiene como objetivo estabilizar el nivel de precios por medio del ajuste a la cantidad de dinero que circula en la economía. La estabilización se consigue mediante la alteración de la tasa de interés, que como se explicó en el prototipo 2, equilibra la oferta y la demanda agregadas. A

continuación se procede a evaluar este comportamiento por medio de la herramienta software Evolución 4.1.

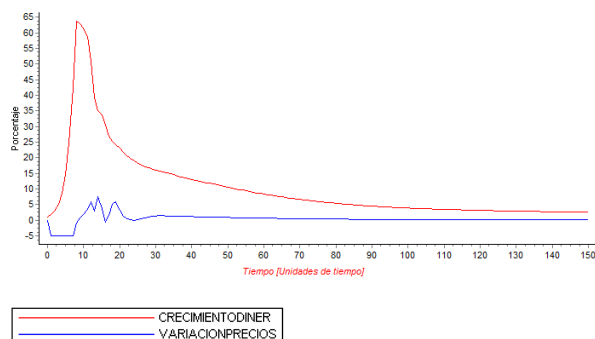


Figura 15. Comportamiento de la variación de precios ante una política monetaria estabilizadora

Como se observa en la **figura 15**, a través del control de la oferta monetaria, los precios se estabilizan, concordando con los supuestos del modelo clásico: la variación de precio se debe a cambios en la cantidad de dinero en la economía.

Así pues, con el uso de las herramientas de la DS, se hace explícita la complejidad que exhibe la economía cuando circula un medio de pago, que por el contrario la educación tradicional simplifica hasta el punto en el cual se pierden detalles, por lo que el estudiante puede confundirse al momento de integrar los nuevos conceptos con los anteriores, teniendo como consecuencia un aprendizaje erróneo de la teoría.

7. CONCLUSIONES

Después de recorrer gradualmente los elementos conceptuales que hacen parte del modelo clásico, se evidencian las dificultades que presenta la educación tradicional frente a dos cuestiones en particular: la integración dinámica de los elementos y la contextualización de los mismos.

A pesar de los supuestos simplificadores asumidos por el modelo clásico, la economía exhibe una complejidad que no es abarcada en su totalidad por las herramientas tradicionales como las gráficas de oferta y demanda, fundamentalmente para explicar procesos dinámicos.

La DS se aprecia como un recurso que puede aportar a superar limitaciones de la educación tradicional, para la integración y la dinámica económica. Facilitándole a la estudiante comprender la teoría descrita en los libros mediante herramientas tales como los diagramas de influencias, diagramas flujo-nivel y simulaciones computacionales.

Igualmente, el hecho de vivir el proceso de construcción del modelo con la DS, concientiza al modelador de la estructura del modelo, es decir, es capaz de no sólo explicar qué sucede, sino más importante aún, puede explicar por qué sucede. Por otro lado, esta concientización, abre la posibilidad de generar un debate

académico, debido que al conocer la estructura del modelo, ésta se puede relacionar y distinguir de la realidad. De tal modo que el aprendizaje de los principios macroeconómicos es conseguido.

8. REFERENCIAS

- [1] Stiglitz, Joseph. *Caída libre: el libre mercado y el hundimiento de la economía mundial*. Bogotá: Taurus, 2010.
- [2] Mankiw, N. Gregory. *Macroeconomía*. Bogotá: Mayol Ediciones, 2010.
- [3] Sachs, Jeffrey y Larraín, Felipe. *Macroeconomía en la economía global*. Buenos Aires: Pearson Education, 2002.
- [4] Krugman, Paul y Wells, Robin. *Introducción a la Economía: Macroeconomía*. Barcelona: Editorial Reverté, 2007.
- [5] Gómez, Freddy y Joya, Elsa. *Economía dinámica del modelo de crecimiento de Harrod planteada con dinámica de sistemas [Tesis de pregrado]*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [6] León, Augusto y Sarmiento, Silvia. *Perspectiva dinámica sistémica del modelo Ricardiano [Tesis de pregrado]*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2005.
- [7] Alfonso, Wilson y Mariño, Laura. *Ambiente software para recrear visiones dinámico-sistémicas de teorías económicas, ilustrado con la perspectiva Malthusiana [Tesis de pregrado]*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2007.
- [8] Jaimes, Ricardo y Mejía, Jaime. *Herramienta informática para la comprensión y experimentación de fenómenos económicos -HICEFE- [Tesis de pregrado]*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1997.
- [9] Lizcano, Adriana y Pineda, Eliécer. *Micromundo para el estudio del modelo del ciclo económico de Adam Smith, un enfoque sistémico [Tesis de pregrado]*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2000.
- [10] Wheat, David. *The Feedback Method. A System Dynamics Approach to Teaching Macroeconomics [Tesis de doctorado]*. Bergen: The University of Bergen, 2007.
- [11] Andrade, Hugo, y otros, y otros. *Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de Unidad*. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2001.
- [12] Aracil, Javier y Gordillo, Francisco. *Dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza Editorial, 1997.
- [13] Whelan, Joseph y Msefer, Kamil. *Economic supply and demand*. MIT SD Road Map paper: D-4388, págs 1–35, 1994.
- [14] Friedman, Milton. *The role of monetary policy*. The American Economic Review: Vol. LVIII, págs. 1-17, 1968.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Una aproximación con dinámica de sistemas para explicar el modelo de degradación de desechos en rellenos sanitarios

César David Quintana Cabeza, MSc(c)

Universidad de Pamplona
Departamento de Ingenierías Civil y Ambiental

+57 (7) 568 53 03 ext 150

cesar.quintana@unipamplona.edu.co

Carlos Arturo Parra Ortega, PhD.

Universidad de Pamplona
Departamento de Eléctrica, Electrónica, Sistemas y
Telecomunicaciones

+57 (7) 568 53 04 ext 155

carapa@unipamplona.edu.co

RESUMEN

Productos de la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios se encuentran el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). Se requiere el estudio de sus cantidades producidas por unidad de desecho dispuesto puesto que se consideran gases de efecto invernadero o de probable explotación comercial. La producción de gases metano y carbónico en rellenos sanitarios puede ser modelado teniendo en cuenta que la degradación de residuos sólidos se realiza mediante procesos de digestión aerobia y anaerobia. El modelo homólogo presentado, se basa en el tratamiento de índices de producción de compuestos en la degradación y el comportamiento de acidógenos, acetógenos y metanógenos dentro de los digestores tabulado desde la curva típica de crecimiento bacteriano que comprende las etapas de arranque, estabilización y declinación. La humedad del entorno del sólido es considerada en el sistema y no la humedad gravimétrica. El modelo homólogo propuesto es bastante simplificado y genera gráficos de producción de metano y dióxido de carbono no tan semejantes a los comúnmente aceptados. El modelado de este proceso utilizando Dinámica de Sistemas es solo una aproximación a su explicación ya que éste se basa en un estudio profundo de la microbiología que actúa durante las fases degradativas del desecho.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, or to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Keywords

Relleno sanitario, degradación, residuo, gas metano, gas carbónico, modelado y simulación.

1. INTRODUCCIÓN

Productos de la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios se encuentran el CO_2 (dióxido de carbono) y el CH_4 (metano) y el estudio de sus cantidades producidas por unidad de desecho dispuesto se requiere puesto que se consideran como gases de efecto invernadero y de probable explotación comercial[1]. La medición *in situ* de la producción de los gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios resulta costosa por las condiciones de infraestructura y mantenimiento frente a los beneficios de aprovechamiento, lo que hace necesario disponer de métodos indirectos de aproximación a su producción[2].

En el caso de la degradación de desechos sólidos en celdas húmedas de rellenos sanitarios, tres modelos que representan las cantidades de metano y carbónico que conforman los gases expedidos a través de las chimeneas fueron estudiados, previo al desarrollo del modelo homólogo que se presenta. El tratamiento de datos, información y diagramas para la simulación y el modelamiento con dinámica de sistemas fue realizado con el software *Evolución 3.5*.

En la estructura del informe se encuentra la descripción del proceso de degradación de desechos a través del trabajo de bacterias; se expone el modelo homólogo propuesto y se presentan gráficamente los resultados obtenidos. Por último, se presentan conclusiones del modelamiento y se recomiendan elementos técnicos para continuar la modelación con dinámica de sistemas.

2. MODELOS BASE DE SIMULACIÓN

Con base en el documento “LOS EFECTOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN RELLENOS SANITARIOS” en el que se trata el modelo inicialmente propuesto por Philip Colborn, en 1997, para la degradación de los desechos sólidos en rellenos sanitarios bajo en concepto de celdas húmedas; las modificaciones introducidas a ese modelo por Brian Benter, en 1999 y la tesis doctoral de Amaya Lobo García [3], se propuso la creación de otro modelo homólogo para la simulación de la producción de gases metano (CH_4) y carbónico (CO_2).

El documento citado, presenta los diagramas causales de los procesos: humedad, biomasa, gas, área superficial, temperatura, pH y desarrolla los diagramas de Forrester. Para algunas de las variables incluidas en esos sectores existen valores ampliamente aceptados; sin embargo, las relaciones y valores iniciales para la mayoría de esas variables no están indicadas.

Por lo anterior, se hace necesario establecer el diagrama causal principal: proceso de degradación del desecho, explicado a continuación.

3. PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL DESECHO

La producción de gases metano y dióxido de carbono en rellenos sanitarios puede ser modelado teniendo en cuenta que la degradación de residuos sólidos se realiza mediante procesos de digestión aerobia y anaerobia.

Estos dos tipos de digestión, que se realizan en serie, se dividen en procesos primarios de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

En el proceso de hidrólisis, la materia orgánica compleja se descompone en polímeros complejos (carbohidratos, lípidos y proteínas) mediante la acción de bacterias fermentativas y por disolución electrolítica de sus sales en agua. De la misma forma, los polímeros biológicos complejos se descomponen en monómeros simples (aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y alcoholes).

La Dra. Amaya Lobo, en su tesis doctoral[3], explica cómo del total de monómeros simples el 76% se convierten directamente en ésteres (productos intermedios) mediante la acción de bacterias fermentativas en un proceso que se conoce como acidogénesis. El restante 24% de los monómeros son directamente degradados a acetatos, dióxido de carbono e hidrógeno mediante el proceso conocido como acetogénesis realizado por acetógenos productores de H_2 . En la figura 1 se puede apreciar un esquema de estos procesos, a partir de desecho sólido hasta su producto final.

Los ésteres resultantes (propionato, butirato, etc) de la acción de los acidógenos en la acidogénesis de los monómeros simples, son reducidos a acetatos (52%) y en H_2 y CO_2 (24%). Estos porcentajes relativos se traducen en 68.42% y 31.58% porcentajes absolutos, respectivamente.

Una vez la materia orgánica compleja ha sido degradada a acetatos, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante los procesos de metanogénesis reductiva²⁵ y metanoclásica²⁶, ambos realizados por bacterias metanógenas se convierte todo ese material en CH_4 y CO_2 provenientes en un 72% de la metanogénesis metanoclásica y un 28% de la reductiva.

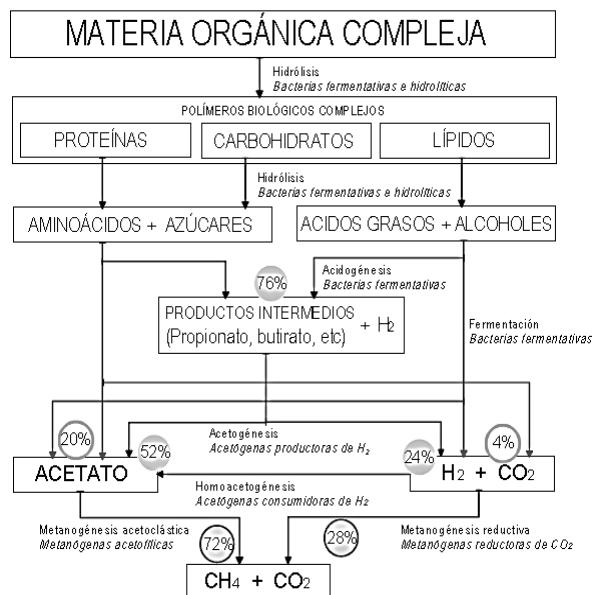


Figura 1. Secuencia y rendimiento de las reacciones en la degradación del desecho. Tomado de Amaya Lobo (2003)

4. EL MODELO HOMÓLOGO

Con base en los porcentajes de producción de compuestos en la degradación de los desechos, expuestos por la Dra. Amaya, el modelo homólogo se basa en el comportamiento del crecimiento bacteriano (acidógenos, acetógenos y metanógenos) establecido mediante la gráfica lateral que se puede apreciar en la figura 2.

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue, desde su arranque, una curva típica en la que pueden distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III).

²⁵ Producción de metano por reducción de dióxido de carbono:
 $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \Rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

²⁶ Producción de metano a partir de moléculas orgánicas:
 $\text{CH}_3\text{COOH} \Rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

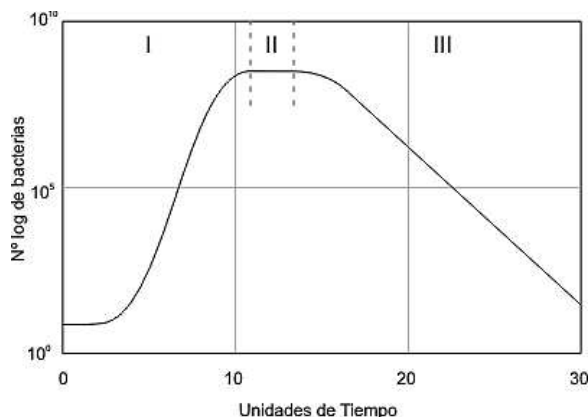


Figura 2. Curva típica de crecimiento bacteriano en digestores

Un lineamiento de rendimiento industrial puede ser deducido de la curva típica de crecimiento bacteriano: se incrementará la producción de CH_4 y CO_2 si se incrementa la pendiente de la curva en la fase de arranque [4]. Tal incremento se lograría con la inoculación de materia de más alto contenido bacteriano procedente de otro digestor o la recirculación del lixiviado, como el caso del mantenimiento digestores discontinuos.

Otro elemento de base, para el modelo propuesto, es la humedad. La humedad está referida al entorno más cercano del residuo y no a la cantidad de agua en proporción a la materia sólida que compone el residuo[5]. La humedad (humedad gravimétrica) se ubica en el 25% en promedio.

También se establece como elemento de base, la temperatura, que, para el caso de este modelo homólogo, varía con respecto al contenido de humedad en el entorno cercano al residuo en degradación; sin embargo, se considera que la temperatura también varía con la producción de CO_2 pero, para efectos de este trabajo, se convierte en limitante del modelo usado para la simulación puesto que no se dispone de valores para explicar la relación múltiple entre humedad, dióxido de carbono y temperatura.

El modelo homólogo propuesto, se basa en los procesos de acidogénesis (III), acetogénesis (V) y metanogénesis (IV) sin tener en cuenta la fase de hidrólisis en consideración al interés en la producción final de dióxido de carbono y de metano (ver figura 3).

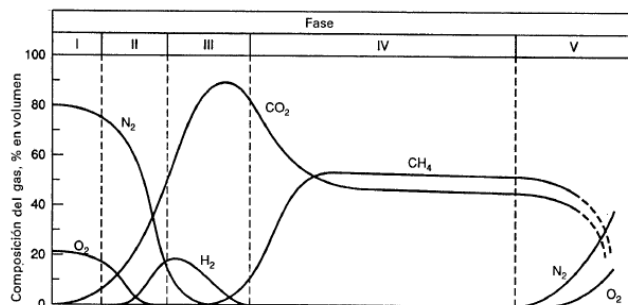


Figura 3. Evolución en el tiempo de las emisiones de un vertedero. Tomado de Tchobanoglous[6]

En la fase de hidrólisis (I y II) no existe producción de metano y, aunque la producción de dióxido de carbono es creciente, esta fase se desarrolla en muy poco tiempo en comparación con el lapso temporal muy amplio de las fases acetogénica y metanogénica que pueden durar entre 90 días y 15 años.

4.1 Diagrama causal

La figura 4 muestra el diagrama de influencias del modelo homólogo propuesto. Como puede observarse, dos ciclos llevan a que el sistema tienda a la estabilidad: por un lado la cantidad de bacterias que crecen en un ambiente favorable de monómeros, los consumen, manteniendo su cantidad regulada, y por ende su propia población. Igual ocurre con la relación entre bacterias y la cantidad de dióxido de carbono.

4.2 Diagrama Forrester

Para explicar mejor las relaciones en las variables, se establece el diagrama de Forrester, que se puede apreciar en la figura 5. En el caso de la temperatura, esta variable depende del grado de humedad y, a su vez, la humedad depende de la producción de agua procedente de la metanogénesis reductiva del H_2 y CO_2 .

En el tratamiento de la humedad, gran parte del agua producida por la metanogénesis reductiva del carbono pasa a formar parte de los lixiviados y, de la fracción restante, solo el 15% aporta al incremento de la humedad relativa en el entorno de los desechos en degradación pero con incertidumbre extrema de cuánto de ese vapor de agua se escapa hacia el exterior de la celda húmeda. Para el caso del crecimiento bacteriano, se organizan los datos de tasa de crecimiento con base en la variación de la temperatura sabiendo que a temperaturas menor de 4° Celsius y mayores que 70° las bacterias que actúan en la digestión de los desechos no sobreviven.

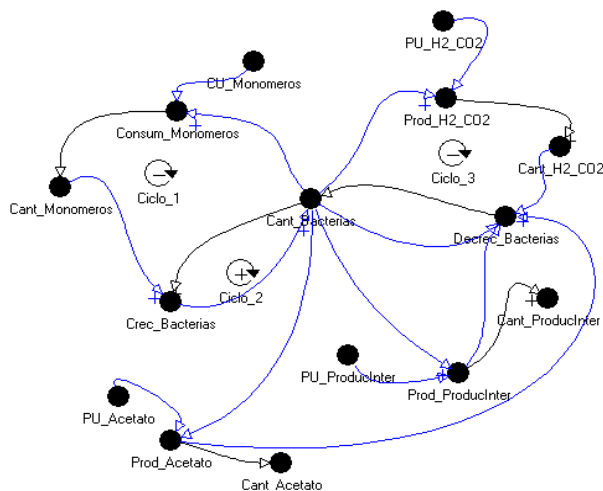


Figura 4. Diagrama de influencias para la degradación de desechos en rellenos sanitarios

El tratamiento del modelo se realizó con la asistencia de la herramienta software “Evolución” para el modelamiento y simulación con dinámica de sistemas[7] generada por el grupo de investigación SIMON perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander (Colombia).

los procesos de acidogénesis y metanogénesis aportan a la varianza de la temperatura inicial en el momento de inicio de esos procesos biológicos. Así mismo, la temperatura tiene relación bilateral con la humedad y, la humedad, es algo que también depende de las cantidades de agua que ingresan a la celda húmeda a través de la permeabilidad del suelo de cobertura e, incluso, al tipo de desecho que se dispone (cáscaras, cartones, plásticos, etc) que posee una mayor o menor cantidad de agua como componente intrínseco.

Teniendo en cuenta que el pH es la medida de hidrógeno presente en una solución, que es un producto de la degradación desde la acidogénesis (a principios del proceso) y que también es un factor decisivo en el desarrollo del crecimiento bacterial, hubiese sido importante su incorporación en este análisis; desafortunadamente no existen datos de su producción y de su destino final.

REFERENCIAS

- [1] A.J.Castro-Montoya, Eric Houbroun. MODELIZACION Y SIMULACION DINAMICA DE LA DIGESTION ANAEROBIA. Div. de Est. de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba; 2011.
- [2] Rina Aguirre Saldivar, Irene Camacho Rea, Gustavo Solórzano Ochoa. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES INVERNADERO DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES. 2011.
- [3] Amaya Lobo García de Cortázar. Desarrollo de MODUELO 2: herramienta para la evaluación de la contaminación producida en vertederos de residuos sólidos urbanos UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Dpto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente; 2003.
- [4] Jorge A.Hilbert. MANUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. Instituto de Ingeniería Rural - Castelar; 2011.
- [5] César David Quintana Cabeza. LINEAMIENTOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN EL RELLENO SANITARIO "LA CORTADA". PAMPLONA (COLOMBIA).Secretaría de Obras Públicas. Alcaldía de Pamplona (Colombia); 1996.
- [6] Frank Kreith, George Tchobanoglous. Handbook of solid waste management. McGraw-Hill; 1994.
- [7] Emiliano Lince Mercado, Mario Cuellar Yeneris. EVOLUCIÓN 3.5 Manual del Usuario. Universidad Industrial de Santander - Grupo SIMON; 2003.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Pantallas Táctiles y Juegos de Simulación en Dinámica de Sistemas

Ángela Ramírez

Universidad de la sabana
Campus Puente del Común
Km 7 vía Bogotá – Chía
+57-310-2374654

angelaraca@unisabana.edu.co

Jenny Robayo

Universidad de la sabana
Campus Puente del Común
Km 7 vía Bogotá – Chía
+57-316-8353937

jennyrogo@unisabana.edu.co

Ricardo Sotaquirá

Universidad de la sabana
Campus Puente del Común
Km 7 vía Bogotá – Chía
+571-8615555

ricardosg@unisabana.edu.co

RESUMEN

En la actualidad los juegos de simulación se componen de interfaces limitadas para la inmersión y visualización de la realidad, especialmente en Dinámica de Sistemas. Sin embargo en otras áreas, como el entretenimiento, se han explorado nuevas formas de interacción que podrían ser empleadas con propósitos educativos. Por lo anterior se construyó una nueva interfaz gráfica para un juego de simulación educativo existente en Dinámica de Sistemas, empleando tecnologías de pantallas táctiles y diseño de interacción, con el fin de aportar un nuevo enfoque al uso educativo de esta metodología de modelado y simulación.

Palabras Clave

Dinámica de Sistemas, Diseño de interacción, inmersión, interfaz, juegos de simulación, pantallas táctiles.

1. INTRODUCCIÓN

La “experimentación simulada” es, incluso desde “Industrial Dynamics” [3], una de las principales intenciones de cualquier proyecto con Dinámica de Sistemas. Entre mayor sea la inmersión del participante en dicha “experimentación” mayores posibilidades para el aprendizaje puede haber. Esto resulta todavía más necesario si se está trabajando con un simulador educativo o con un juego de simulación. Hoy en día existen múltiples facilidades para estimular la inmersión de las personas en un videojuego, sin embargo, las formas de interacción y de

visualización utilizadas en Dinámica de Sistemas parecerían haberse quedado ancladas en la década de los 80, cuando se popularizaron las interfaces de ventanas y menús.

En juegos populares con Dinámica de Sistemas, tales como People Express y Boom & Bust, puede observarse que la interfaz está compuesta básicamente por diagramas de comportamiento en el tiempo, tablas de datos numéricos y otras formas de representación que resultan limitadas para provocar la imaginación del jugador respecto del fenómeno que allí se está simulando. En la versión de People Express diseñada por John Sterman [8], la interfaz no cuenta con animaciones, las imágenes no tienen color, y su interacción se limita a llenar un formulario con datos numéricos. Por su parte Boom & Bust [2] cuenta con una interfaz inanimada que no muestra con imágenes el resultado de cada jugada, y su interacción consiste únicamente en digitar información. Esto contrasta evidentemente con lo que hoy en día puede verse en videojuegos con nuevas tecnologías interactivas, como es el caso de los juegos desarrollados para las consolas Wii [6] y Xbox 360 [9] que, en su mayoría, son controlados por movimientos del cuerpo como saltar, levantar la mano, correr en el puesto, bailar, patear etc. Estas tecnologías han hecho posible una nueva generación de videojuegos que producen en el jugador un grado de inmersión que no había sido alcanzado en el campo digital.

Este artículo presenta los resultados de una experimentación con estas tecnologías en una aplicación educativa con Dinámica de Sistemas que presenta nuevas formas en la visualización y utilización de modelos generados en dicha disciplina. Para ello se tomó un juego existente, el juego de La Piangua [1], que simula el caso de una comunidad afro-colombiana en las costas del Pacífico, que se sostiene gracias a la extracción de la concha llamada piangua, en vía de extinción. Los jugadores se ven enfrentados a una situación de explotación de un recurso de uso común y a los dilemas de cooperación y sostenibilidad que de allí se derivan. Se construyó una interfaz para este juego caracterizada por una visualización animada y una interacción mediante pantalla táctil. Gracias a dicha interacción se puede lograr en el jugador

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

una experiencia que estimula sus sentidos y que termina siendo más inmersiva que lo usualmente visto en Dinámica de Sistemas.

2. ANTECEDENTES

Dentro de los diseños educativos para mejorar la experiencia de los estudiantes en todos los niveles de aprendizaje y la adquisición de conocimiento en forma lúdica, se emplea la imitación de conceptos reales en un mundo virtual, es decir la simulación de diferentes aspectos o situaciones que necesitan de una toma de decisiones.

La Dinámica de Sistemas igualmente emplea juegos de simulación como estrategia de enseñanza; dentro de los más conocidos y utilizados se encuentran: La Tragedia de los Comunes, Fish Bank o Banco de peses, People Express, y El Juego de la Cerveza. Siendo un poco más precisos en la temática ambiental está Water Wars, y Honoloko como referencia.

Pero la mayoría de estos juegos tienen interfaces pobres en animación, cargadas de texto, con datos numéricos difíciles de entender, compuesta por elementos sin relación clara entre ellos, y con gráficos pesados visualmente. Además las formas de interacción que brindan, generalmente, resultan monótonas, predecibles, planas y muy poco atractivas, ya que hasta el momento únicamente se ha empleado como medio el computador convencional.

Esto se pudo identificar gracias a la revisión bibliográfica elaborada, cuyos resultados fueron ausencia de estudios que empleen la nueva tecnología de pantallas táctiles en el proceso de simulación propuesto por la Dinámica de Sistemas; y al análisis de las interfaces gráficas de los juegos de simulación mencionados anteriormente bajo los criterios del diseño de interacción.

Según lo anterior, se puede decir que el uso de pantallas táctiles dentro del campo de la Dinámica de Sistemas resulta ser una posible solución a la falta de interacción por parte del usuario con juegos de simulación, y una manera de facilitar el aprendizaje de los conceptos que se quieren mostrar con dicha estrategia pedagógica.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Pantallas Táctiles

En la búsqueda de una herramienta que facilite y mejore el nivel de interacción digital, se han venido desarrollando diferentes componentes tecnológicos, como es el caso de las pantallas táctiles, dispositivos que se manejan a través de toques directos en su superficie y que presentan a su vez información en la misma superficie, como es el caso del iPhone y iPad. Dichas pantallas táctiles han tenido gran acogida en diferentes campos, en la educación han sido empleadas por varias instituciones para desarrollar habilidades por medio de la diversión, especialmente en estudiantes con discapacidades; “tocar, oír, ver, construir y jugar, ayuda en el proceso de lectura en la infancia... un apoyo específico para las necesidades de aprendizaje de los niños con discapacidades” [5].

6.2 Diseño de Interacción

Ahora bien, para que una aplicación en pantallas táctiles sea atractiva, fácil de usar y que además genere confianza y compromiso necesita hacer uso de una metodología reciente llamada Diseño de Interacción, que más que una metodología, ha

sido definida como “el arte de facilitar la interacción de las personas a través de productos o servicios.” [7]. Al diseñar y construir la aplicación basándose en el diseño de interacción, se conocen las posibles formas de hacer algo, las cualidades sensoriales que se despiertan al recibir una respuesta y cómo las personas la utilizan, por medio de mapas o caminos.

3.3 El Juego de la Piangua

El juego de La Piangua simula el caso de una comunidad afro colombiana en las costas del Pacífico, que se sostiene gracias a la extracción de la concha llamada piangua; en vía de extinción. En una investigación previa [1] se modeló con Dinámica de Sistemas este caso. Para ello se modeló la dinámica poblacional de un ecosistema de pianguas y cómo este se vería afectado por las decisiones de explotación por parte de una comunidad. Se modeló además, con base en Teoría de Juegos, los pagos que recibirían las familias de esta comunidad según el nivel de explotación que hicieran del recurso común, en este caso, de las pianguas. En el juego los participantes deben tomar decisiones para mantener la sostenibilidad del sistema en aspectos económicos, ambientales y sociales.

En su versión original [1] se utilizó Powersim pero recientemente comenzamos a experimentar con una versión hecha en la plataforma de computación visual Processing [4]. El juego visualmente solo expresa algunos resultados del modelo de simulación, resultados pertinentes para que los jugadores tomen decisiones (tales como el nivel de bienestar de las familias que extraen el recurso). (Ver Figura 1)

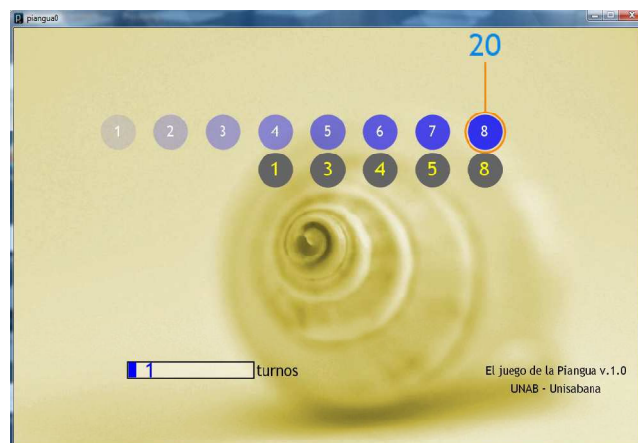


Figura 1. Interfaz anterior Juego de La Piangua.

Para lograr la comprensión de los conceptos establecidos en el modelo se quiso representar en la interfaz gráfica del juego las variables de esfuerzo individual (por familia), esfuerzo colectivo (suma de los esfuerzos) y estados de bienestar alcanzados según el esfuerzo realizado, sin embargo no se evidencia claramente y de forma impactante el estado de dichas variables.

4. RESULTADOS

Para enriquecer la visualización y las posibilidades de interacción e inmersión, los autores construyeron un nuevo software con su respectiva interfaz para ser usada con una pantalla táctil.

El software se compone de dos aplicaciones: una que es utilizada por cada uno de los equipos de jugadores (que representan familias en la comunidad real) y que denominamos privada; y otra donde se muestra la situación actual de la comunidad como un todo y que denominamos pública. Al interior de la aplicación privada se programó el modelo de simulación en Dinámica de Sistemas elaborado para la versión original del juego de la Piangua [1]. El desarrollo fue hecho en Processing [4] que es una herramienta de computación visual multiplataforma, pero se utilizó un computador con pantalla táctil sobre Windows 7 para las pruebas.

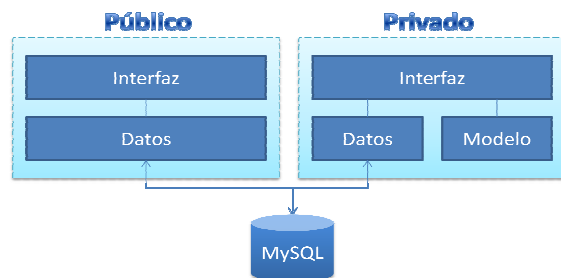


Figura 2. Arquitectura del Software

El uso de la pantalla táctil puede verse con claridad en la representación que se hace del terreno donde el jugador, tomando el rol de un pianguero real, tiene que escarbar en el lodo en busca de pianguas (ver Figura 3). Es así como, los participantes no ingresan números o caracteres, simplemente la información se captura de forma análoga a la realidad, mientras se está interactuando con el juego de forma natural.



Figura 3. Búsqueda de Pianguas.

El emplear imágenes representativas de la situación que se está recreando y con las cuales se pueden interactuar aporta realismo al juego, lo que permite que el participante sienta mayor compromiso y logre apropiarse de la vivencia que se quiere transmitir, pues gracias a dichos gráficos se estimula la visión, uno de los sentidos que genera sensaciones en el cuerpo al ser incitado.

Así mismo, se emplearon animaciones alusivas a las situaciones que plantea el juego de simulación, como el cambio de estado de las familias dependiendo de la cantidad de pianguas extraídas (ver

Figura 4) y el estado de la comunidad según las decisiones tomadas individualmente (ver Figura 5)

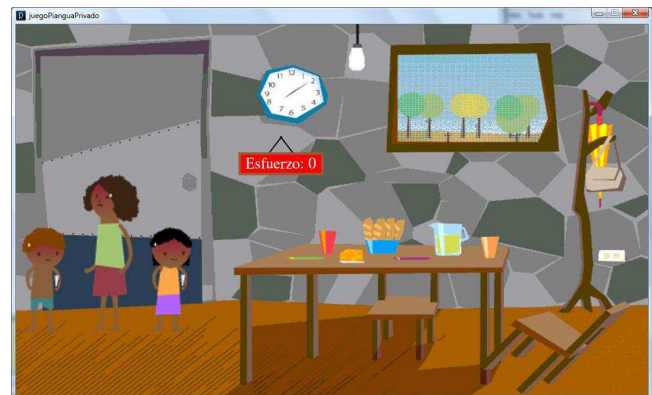


Figura 4. Estado de Bienestar Familiar.



Figura 5. Estado de Bienestar Colectivo.

Como agregado, se implementó un sistema para que cada grupo o familia escogiera los personajes que representarían a su familia dentro del juego, esto con el fin de generar identidad con el juego, establecer de cierta forma compromiso con lo que se está haciendo, y darle un toque más de realidad. (Ver Figura 6)

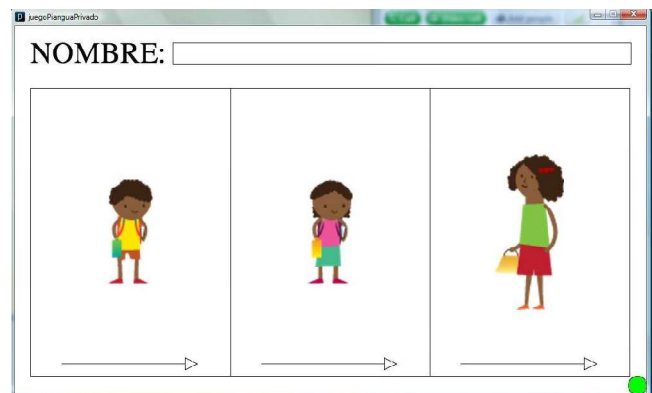


Figura 6. Selección de Personajes.

5. CONCLUSIONES

A través de este proyecto piloto se puede observar las posibilidades de visualización e interacción en un juego de Dinámica de Sistemas, más allá de las formas clásicas que se aplican usualmente. Es decir, más allá de interfaces en donde el jugador introduce datos numéricos o selecciona valores para sus decisiones utilizando por ejemplo barras de deslizamiento; esta nueva interfaz captura la decisión del usuario a partir de su propio ejercicio manual, en este caso, consistente en “escarbar” sobre un gráfico animado que aparece en una pantalla táctil. De manera que a través de gestos el jugador se “sumerge” en la realidad que busca ser representada a través del juego. De manera similar podría pensarse en múltiples aplicaciones de esta tecnología en otros juegos dinámico-sistémicos de áreas diversas. En un juego de inventarios el jugador podría apilar elementos, en un juego de física el usuario podría expresar velocidades a través de la rapidez con que desliza sus manos en una cierta imagen, etc. Es decir, se le proporciona una visualización similar a la real y lo más importante es que puede interactuar gestualmente con ella de modos análogos a los reales. Esta es la estrategia de inmersión que se probó en este proyecto y que consideramos interesante para otras aplicaciones en Dinámica de Sistemas. Teniendo como supuesto el que una mayor inmersión facilite el aprendizaje de los participantes puesto que con ello se hace posible que las personas se compenetren mejor con la situación modelada y se apropien de lo que está sucediendo convirtiéndolo en una vivencia propia.

6. REFERENCIAS

- [1] Ariza, C. *El Juego de la Piangua, Un Camino Hacia la Cooperación y la Sostenibilidad de Recursos*. Tesis de maestría, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, 2008.
- [2] Forio. . Recuperado el 12 de Junio de 2011, de sitio web de Forio: <http://forio.com/bandb.htm>, 2010.
- [3] Forrester, J. *Industrial Dynamics*. Pagasus Communications, 1961.
- [4] Fry, B., y Reas, C. *Getting Started with Processing*. O'Reilly Media, 2010.
- [5] Mioduser, D., Tur-Kaspa, H., y Leitner, I. The learning value of computer-based instruction of early reading skills. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16 (Nov. 2000), 54-63.
- [6] Nintendo. *Wii*. Recuperado el 13 de Junio de 2011, de <http://www.nintendo.com/wii>, 2010.
- [7] Saffer, D. *Designing For Interaction: Creating Smart Applications and Clever Devices*. New Riders, 2007.
- [8] Stermann, J. *People Express Management Flight Simulator*. Cambridge, 1988.
- [9] Xbox. *Kinect - Xbox.com*. Recuperado el 13 de Junio de 2011, de <http://www.xbox.com/es-CO/kinect>, 2010.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de Septiembre Del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora Del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Propuesta de un modelo con dinámica de sistemas como herramienta en el aprendizaje del eslabón de producción de la cadena productiva del cacao

Proposal of a model system dynamics as a tool in learning link chain production of cocoa

Natalia Martínez Rojas

Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
natica@simon.uis.edu.co

Hugo Andrade Sosa

Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
handrade@uis.edu.co

Urbano Eliécer Gómez

Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
urbanoeliecer22@hotmail.com

RESUMEN¹

El presente artículo pretende mostrar una aproximación del fenómeno de la cadena productiva del cacao, basada en el pensamiento sistémico con dinámica de sistemas, de tal forma que facilite el aprendizaje sobre el proceso de la cadena productiva del cacao, en primer lugar que sirva de apoyo a los agricultores en la comprensión de los sistemas, y en segundo lugar que brinde conocimientos en tópicos de interés para la comunidad, permitiendo el mejoramiento en cada una de las etapas que se llevan a cabo (producción, comercialización y proceso industrial).

Palabras Clave: Cadena productiva del cacao, dinámica de las cadenas productivas, cacao, chocolate.

ABSTRACT

This article shows a model of cocoa supply chain, based in systems thinking and system dynamics simulation, in such a way that facilitates learning about the process of cocoa production chain, first to serve support to farmers in the understanding of systems, and secondly to provide expertise on topics relevant to the community, allowing the improvement in each of the stages that take place (production, marketing and industrial process).

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Keywords: Cocoa production chain, dynamic production chains, cocoa, chocolate

1. INTRODUCCIÓN

Por medio de la dinámica de sistemas se han desarrollado modelos, los cuales han servido como laboratorios, en donde se puede identificar y transferir el conocimiento de persona a persona.

A través de un modelo el cual permita experimentar y conocer cada una de las etapas comprendidas por la cadena productiva del cacao (producción, comercialización y proceso industrial) se podrá apoyar a los actores de la misma y particularmente con el modelo del eslabón de producción de cacao, con el cual se pueda interactuar se podrá guiar a los agricultores y a cualquier persona a ampliar los conocimientos que tiene acerca del tema.

Dicho modelo se desarrolló en búsqueda de una herramienta útil para apoyar la toma de decisiones de los agricultores.

La estructura de este artículo es la siguiente: primero una contextualización de la dinámica de sistemas enfocada en el aprendizaje y en la agroindustria, con esto el lector tendrá una idea de los alcances logrados en estas áreas, y podrá visualizar la propuesta para este modelo de producción de cacao, ya que la agricultura es primordial para el desarrollo de las naciones²⁸.

Posteriormente, se describirá las generalidades del fruto del cacao y el concepto de cadenas productivas y cómo se organiza la cadena del cacao y se enfatizara en el eslabón de producción.

Teniendo en cuenta lo anterior se presentara una propuesta para el eslabón de producción de la cadena productiva del cacao por medio de la dinámica de sistemas.

Para finalizar se encuentran las conclusiones y recomendaciones y las referencias bibliográficas.

2. DINÁMICA DE SISTEMAS

La Dinámica de Sistemas y el pensamiento sistémico como herramientas de modelado, aportan diversas formas de enfoque hacia un tema común, logrando que la realización y comprensión de los modelos, pueda hacerse a través del prototipado, avanzando en grados de complejidad de modelado.

La dinámica de sistemas es una metodología fundamentalmente usada para construir modelos matemáticos de fenómenos de diversa índole²⁹.

2.1 Modelos como herramientas de aprendizaje

O'Connor, en su libro *Introducción al pensamiento sistémico* define el aprendizaje como un proceso, el cual supone un cambio, una experiencia que transforma, cada persona tiene su mejor manera de aprender ya sea leyendo, hablando o actuando. El aprendizaje es un bucle de realimentación básico, como el mostrado en la figura 1.



Figura 1. Bucle básico de realimentación en todo aprendizaje.
Fuente O'Connor 1997, *Introducción al pensamiento sistémico*, página 148

Los modelos pueden servir de apoyo para procesos de enseñanza-aprendizaje y adquisición de conocimiento sobre un tema en particular, ya que con el modelo se puede experimentar, ya que por medio de los comportamientos obtenidos del modelo, se pueden tomar decisiones y cambiar lo que hacemos en respuesta a la realimentación que se ha recibido. Es decir, que muchas veces se actúa según la realimentación, si las decisiones tomadas ayuda a acercarnos al objetivo, de lo contrario se actúa de otra forma.

2.2 Modelos Agroindustriales

Los proyectos previamente realizados por el grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, constituyeron un punto de partida para el desarrollo del modelo, la finalidad de las investigaciones fue la de construir un primer marco de referencia de la aplicación de la Dinámica de Sistemas para el sector agroindustrial.

Algunos proyectos realizados previamente y los cuales han servido de apoyo son los siguientes:

- Propuesta De Un Modelo De Simulación Para El Cultivo De La Caña Panelera Bajo El Enfoque Sistémico³⁰
- Propuesta De Modelo Económico De La Producción De Panela Bajo El Enfoque Sistémico³¹
- Lineamientos Metodológicos Para La Construcción De Modelos Agro-Industriales Identificables En Términos De Dinámicas Poblacionales Basados En El Pensamiento Sistémico Y La Dinámica De Sistemas³²

¹ Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia; en el marco del Noveno Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2011. Mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON: <http://simon.uis.edu.co>

²⁸ La agricultura es una actividad de gran importancia estratégica como base fundamental para el desarrollo autosuficiente y riqueza de las naciones. Tomado de Wikipedia.

²⁹ ANDRADE H. et al. 2001. *Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de la unidad*. Bucaramanga. Ediciones Universidad Industrial de Santander.

³⁰ Tomado de la tesis "Propuesta de un modelo de simulación para el cultivo de la caña panelera bajo el enfoque sistémico" elaborado por González Jorge y Rodríguez Julio.

³¹ Tomado de la tesis "Propuesta de un modelo económico de la producción de panela bajo el enfoque sistémico" elaborado por Acevedo Celso y Parra Andrick.

³² Tomado de la tesis de maestría "Lineamientos Metodológicos Para La Construcción De Modelos Agro-Industriales Identificables En Términos De Dinámicas Poblacionales Basados En El Pensamiento Sistémico Y La Dinámica De Sistemas" elaborada por Gómez Urbano

Los modelos desarrollados para el sector agroindustrial, han apoyado la comprensión de los fenómenos a los sistemas que describen, convirtiéndose en herramientas que permiten pronosticar resultados para los inversionistas del sector.

3. EL CACAO

El nombre científico del árbol de cacao es *Theobroma cacao* L³³, el cual proviene de la lengua griega y significa “alimento de dioses” y la letra L, al final corresponde a la persona que la clasificó Carlos Linneo. Según estudios, es una planta nativa de América del Sur, de la cuenca del río Orinoco y río Amazonas.

La palabra cacao puede hacer referencia a tres conceptos muy relacionados entre sí³⁴:

- Cacao puede referirse, en primer lugar, al fruto del cacaotero, entendido este bien como la mazorca que crece directamente de su tronco, bien como las semillas contenidas en ese fruto.
- En segundo lugar, el cacao es también el producto que resulta de la fermentación y el secado de esas semillas (o habas o maracas) del fruto del árbol del cacao. El cacao, entendido así, es el componente básico del chocolate.
- Por último, se denomina además cacao al polvo seco que se obtiene moliendo los granos y extrayendo, total o parcialmente, la grasa o manteca de cacao.

4. LAS CADENAS PRODUCTIVAS

El concepto de cadenas productivas se refiere a todas las etapas comprendidas en la elaboración, distribución y comercialización de un bien o servicio hasta su consumo final.

Los tipos de cadenas productivas son tres, y se encuentran descritas a continuación:

- **Cadena Completa:** Es una Cadena Productiva compuesta por todos los componentes (proveedores de insumos, sistemas de insumos, sistemas productivos, agro-industria, comercialización mayorista y minorista y consumidores finales).
- **Cadena Incompleta:** Es una Cadena Productiva en que falta uno o más de estos componentes.
- **Cadena Integrada:** Es una Cadena Productiva cuyo producto se constituye en insumo para otra cadena (ejemplo: cadena integrada de maíz y pollo o maíz y cerdo).

La figura 2, muestra, las etapas de una cadena productiva cualquiera.



Figura 2. Estructura general de una cadena productiva

“Las cadenas productivas agroindustriales se manifiestan como cadenas de suministros que no están descritas por una sola secuencia lineal, haciendo más compleja su modelación”³⁵. La figura 3, muestra una cadena de suministros, en la cual se observa que no se tiene una secuencia lineal.

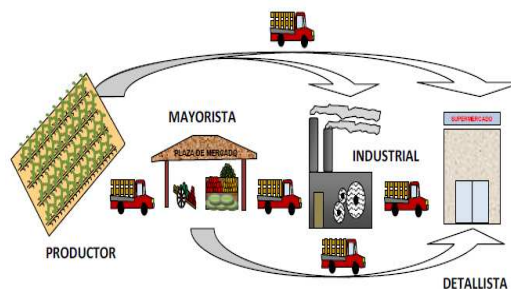


Figura 3. Cadena de Suministros Agroalimentaria. Fuente: VERGARA Juan y otros

La cadena de cacao se divide en tres eslabones de acuerdo a cada etapa del proceso productivo. De esta forma la cadena contiene un eslabón primario, un eslabón de comercialización y uno de proceso industrial. En la figura 4 se muestra la cadena productiva del cacao y las relaciones que existen en cada uno de los eslabones:

³³ Tomado de Etnobotánica, Disponible en línea en: <http://www.uv.mx/ethnobotany/cacao.html>, Consulta: Mayo, 2011

³⁴ GUTIÉRREZ, Claudia. Proyecto De Desarrollo Productivo Cadena De Valor Frutícola Análisis Del Mercado Para Cacao. 2009. Disponible en línea en: <http://www.frutal-es.com/uploads/Cacao1.pdf>, Consulta: Noviembre de 2010

³⁵ VERGARA Juan y otros. Análisis de las Cadenas Productivas Agroindustriales Bajo la Óptica de la Dinámica de Sistemas: Una Aproximación al Caso de las Cadenas Productivas Agroindustriales en el Departamento de Bolívar

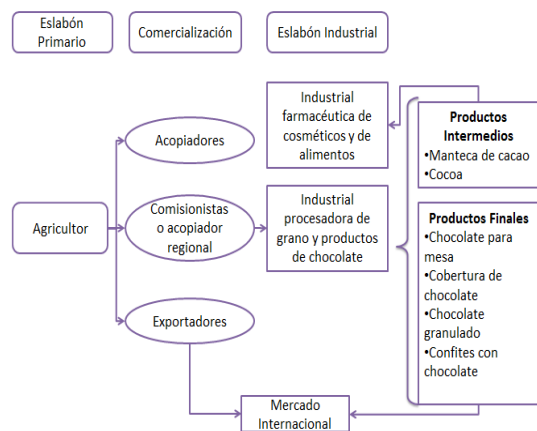


Figura 4. Cadena Productiva del Cacao. Fuente: Martínez y otros.

La figura 5 muestra la relación entre los actores que intervienen y la organización de la cadena productiva de cacao:

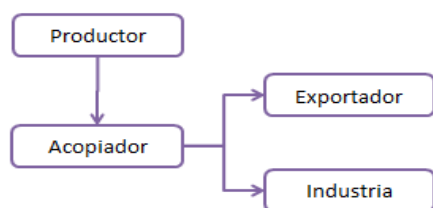


Figura 5. Relación entre actores de la Cadena Productiva del Cacao. Fuente: Autor

La relación entre los actores, empieza con la venta que realiza el productor a los acopiadores, que son los encargados de reunir el producto para luego venderlo a la industria o a los exportadores. Posteriormente es llevado al consumidor final como un producto terminado.

La cadena productiva de Cacao identificada, se estructura en cuatro eslabones cuyas interrelaciones permiten alcanzar un mejor desempeño y aumentar la competitividad, a través de la cual interactúan diferentes actores. Los eslabones de la cadena se describen a continuación:

- **Productores del Grano:** agrupa a las fincas ubicadas en las regiones productoras de cacao del país.
- **Comercializadores del Grano:** hace referencia a los actores ubicados en las cabeceras de los municipios productores, quienes realizan el acopio del grano y son el puente entre el cultivador y la industria
- **Industria de transformación del cacao:** integra las actividades dirigidas fundamentalmente al procesamiento de productos para la industria alimenticia de chocolate.
- **Exportadores:** es el puente entre los comercializadores y el mercado internacional.

4.1. Eslabón primario (Eslabón de Producción)

El árbol de cacao (*theobroma cacao*), es una planta tropical, de la cual existen tres variedades: el Criollo (cacao dulce), el Forastero (amelonado) y el Trinitario (el cual se obtiene por el cruce entre el criollo y el forastero).

Para la producción de cacao, es necesario tener en cuenta que el cacao es una planta la cual requiere de mucho cuidado, además debe cumplir con ciertos requisitos para su normal desarrollo. Las consideraciones más importantes para el establecimiento de un cultivo de cacao son los factores climáticos y las exigencias del suelo.

Los factores climáticos para el desarrollo y buena producción de cacao están estrechamente relacionados con las condiciones medio ambientales de la zona en la cual se cultivan. Es por esto que los factores climáticos que influyen en la producción son:

- Temperatura
- Agua
- Viento
- Sombreamiento
- Altitud

El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcillosos y con buen drenaje. La hojarasca y el sombreado ayudan a mantener la humedad necesaria durante los meses de sequía. Las exigencias del suelo son las siguientes:

- Drenaje
- pH Del Suelo
- Materia Orgánica

También es necesario tener en cuenta, las plagas y enfermedades³⁶ que afectan al cultivo, debido a que estas pueden causar grandes pérdidas en la producción.

Asimismo, se deben tener en cuenta otras consideraciones propias de todos los cultivos, como lo son las labores culturales de los cultivos:

- Eliminación De Malas Hierbas
- Poda

Finalmente se encuentra la labor de beneficio del fruto, la cual comprende la recolección, desgrane, fermentación, secado, limpieza y clasificación del grano. Este proceso es vital para la obtención de un grano de calidad, en la medida en que se fija el olor y sabor característico del grano y por tanto del chocolate.

En cuanto a la tecnología empleada, entendida como las labores culturales realizadas por los agricultores y la frecuencia en un tiempo oportuno, se encuentra en un nivel bajo para la mayoría de las fincas, es decir, solo se llevan a cabo labores básicas de recolección, control de malezas y poda.

La mano de obra, empleada para el cultivo de cacao es en su mayoría de tipo familiar, hasta para las labores en donde se requiere análisis de suelos y uso de insecticidas o plaguicidas; la poda es la única actividad en donde la mayor proporción de la mano de obra es contratada.

³⁶ Para más información consultar Cultivo de cacao, Disponible en línea en: http://www.bedri.es/Comer_y_beber/Chocolate/Cultivo_del_cacao.htm

Las personas que viven en las fincas se caracterizan por tener niveles de escolaridad bajos, la mayoría solo alcanzan estudios de primaria y el conocimiento del cultivo proviene principalmente por la experiencia en el cultivo y por tradición familiar.

5. PROPUESTA DEL ESLABON DE PRODUCCION TENIENDO EN CUENTA LA CADENA PRODUCTIVA DEL CACAO

Para describir el comportamiento del eslabón de producción de cacao y los efectos de las decisiones tomadas por los agricultores a través de dinámica de sistemas, se hace necesaria la realización de un modelo.

El objetivo del modelo es mostrar los requisitos necesarios para la producción de cacao y como estos influyen en la producción.

5.1 Diagrama de influencias

El diagrama de influencias para el eslabón de producción de la cadena productiva de cacao se muestra en la figura 6, en donde, tomando como punto de partida la siembra de plantas de cacao en un terrero, las cuales se ven afectadas directamente por factores climáticos (temperatura, altura, velocidad de viento, agua y sombra) y factores de suelos (profundidad, pH, piedras y gravas, drenaje y pendiente), además de la densidad sembrada (número de plantas de cacao por hectárea).

Al crecer las plantas de cacao se convierten en plantas productoras (PltProductoras), este crecimiento se ve afectado directamente por la poda, debido a que la planta requiere de un mantenimiento y control de la sombra. Las plantas productoras se ven afectadas por factores de muertes como lo son las plagas (pájaro carpintero, ratas e insectos) y las enfermedades (escoba de bruja, mal de machete, mazorca negra y molinilia), estos factores disminuyen

las plantas productoras, pero a su vez estos factores pueden ser contrarrestados o disminuir debido a una buena poda.

Manteniendo el cultivo en óptimas condiciones se puede prevenir las enfermedades y las plagas, propias del cacao, causas de pérdidas en la producción.

Si las plantas productoras aumentan, la producción de mazorcas de cacao aumenta también, para esto se debe tener en cuenta que existen dos tipos de cosechas, la cosecha semestral (la cosecha mayor), en donde se recogen entre 25 y 30 mazorcas aproximadamente por árbol de cacao y cosechas quincenales o cosechas menores en donde se recogen hasta 5 mazorcas por árbol.

Posteriormente, se realiza las actividades de beneficio del cacao: quiebra (proceso mediante el cual la mazorca se parte para obtener las almendras), fermentación, secado y clasificado.

Terminado el beneficio del cacao se procede a vender las almendras secas a los acopiadores o comisionistas.

El dinero obtenido en el proceso, se dispone de la siguiente manera:

- Pago de salario a los trabajadores
- Tecnificación del proceso del beneficio del fruto, para obtener almendras de mejor calidad y con un menor esfuerzo.

Además del dinero obtenido por la producción de cacao, también se obtienen ingresos por la sombra, estos ingresos son los que al inicio del cultivo ayudan a mantener los gastos de producción, debido a que los beneficios económicos del cultivo se observan siete años después de la siembra.

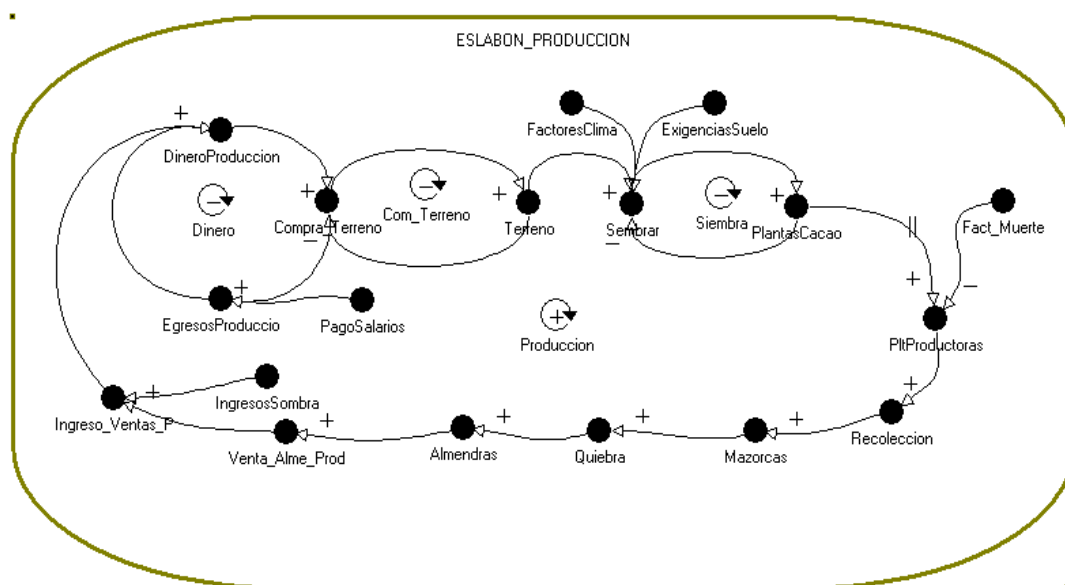


Figura 6. .Diagrama de Influencias del Eslabón Primario

5.2 Flujo-Nivel

El diagrama de flujo-nivel, para el eslabón de producción está conformado por tres sectores, mencionados a continuación:

- Producción (la cual abarca crecimiento de las plantas, plagas y enfermedades, poda, recolección, tratamiento del fruto y costos de producción)
- Factores climáticos
- Exigencias de suelos

En la tabla se presenta un resumen de los componentes del modelo de producción de la cadena productiva del cacao.

Tabla 4. Tabla resumen del modelo de producción de cacao

Total Elementos	102
Relaciones	85
Niveles	8
Flujos	11
Parámetros	32
Auxiliares	24
Multiplicadores	10
Retardos	7
Clones	9

La figura 7, muestra un sector del diagrama de flujo-nivel del modelo de producción de cacao, en el cual se pueden apreciar el proceso de producción, en el cual, para iniciar un cultivo es necesario tener disponible un terreno, el cual puede variar dependiendo del dinero con el que se cuenta, en el terreno se dispone a sembrar las plantas de cacao, para esto es necesario tener en cuenta que el crecimiento de una planta se ve afectado por diferentes factores, los cuales son en su mayoría iguales para

numerosas plantas, tal como el agua, debido a que la ausencia de esta puede llevar a la muerte de cualquier planta.

Las plantas de cacao es un nivel, el cual aumenta cada vez que la siembra aumenta, la siembra depende de varios factores, como lo son el área sembrada (área del terreno disponible para la siembra de cacao), la densidad de siembra (número de plantas de cacao sembradas por área), factores climáticos (temperatura, agua, entre otros) y factores de suelos (pH del suelo, drenaje, entre otros).

La transición de la planta de cacao a una planta productora de cacao tiene una duración de 260 semanas, tiempo en el cual puede ser afectado por plagas o enfermedades que pueden causar la muerte, después de pasado este tiempo, las enfermedades que afectan la planta aunque disminuyen la producción no causan su muerte.

Lo que se refiere al fruto en sí, es la parte del beneficio del fruto del cacao, el cual es un proceso que empieza con la recolección, existen dos tipos de recolección, la recolección principal, la cual se realiza dos veces al año y la recolección quincenal que se realiza cada quince días.

Seguido de la recolección pasa a la fase de quiebra, la cual consiste en obtener almendras.

Posteriormente, se procede a la fase del beneficio del fruto (fermentación, secado y clasificación de las almendras), en la figura esto se representa con un retardo el cual indica el tiempo requerido en pasar de almendras a almendras secas. En este punto, el productor obtendrá almendras de buena calidad listas para vender o para almacenar.

Finalmente, se obtienen los costos de este eslabón, en los cuales se incluyen los salarios de los trabajadores así como los ingresos por la venta las almendras y de la sombra.

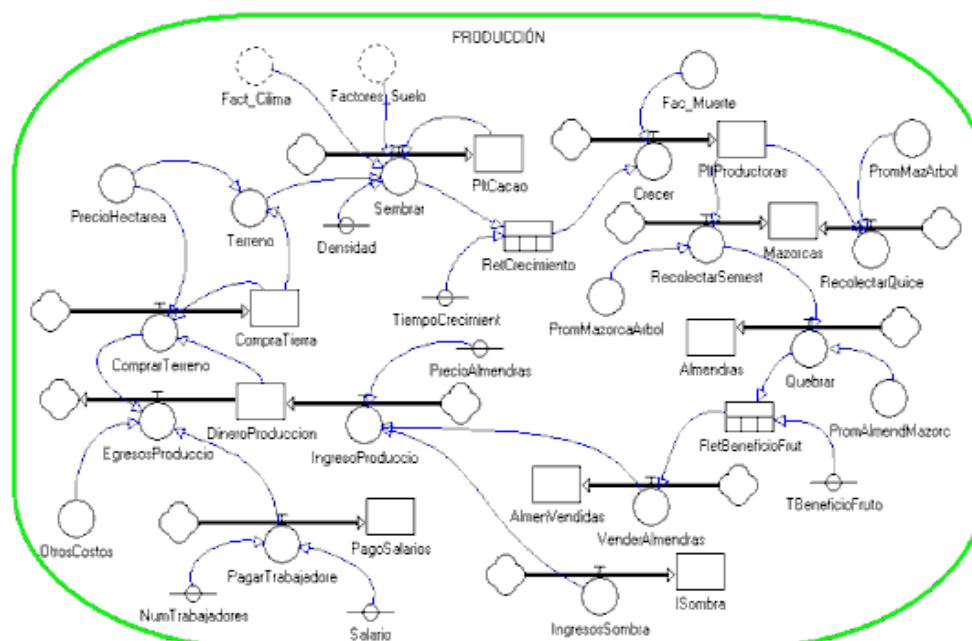


Figura 7. Diagrama Flujo-Nivel de Producción

Los costos de producción varían dependiendo el nivel tecnológico de las plantaciones y de su localización. Para esta simulación, no se tuvieron en cuenta los costos de instalación del cultivo; el comportamiento obtenido muestra que los primeros cinco años (260 semanas) prácticamente no existen ingresos por parte del cultivo de cacao, debido a que durante este tiempo el árbol aún no ha empezado a producir. A partir del quinto año, los ingresos aumentan y el cultivo se vuelve rentable.

El dinero de la producción se observa en la figura, la simulación se realiza para dos posibles escenarios, el primero es utilizando una variedad de cacao ya sea criollo³⁶ o forastero³⁷, el cual requiere de 5 años para empezar la producción, y el otro escenario es para una variedad de cacao trinitario³⁸, este tipo de cacao requiere menos tiempo para empezar la producción; esto se observa en la gráfica en donde la variedad de cacao trinitario empieza a generar ingresos a un menor más rápido que la variedad criollo o forastero.

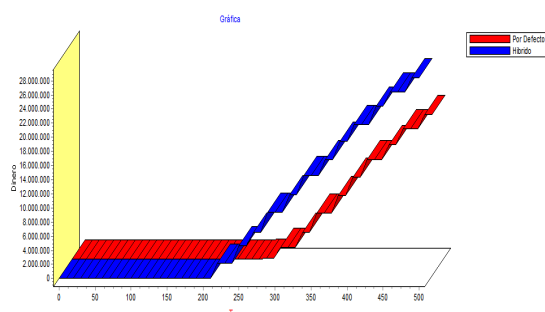


Figura 8. Costos de Producción

Lo cual coincide con las investigaciones del Comité Técnico del Consejo Nacional Cacaotero, en donde los costos de producción son la mano de obra, insumos, infraestructura, equipos y herramientas y otros costos.

La figura 9, muestra cómo se reparten los costos a través del tiempo, lo relacionado con la infraestructura (arriendo del terreno), equipos y herramientas es prácticamente constante a través del tiempo, debido a que su variación está dada por la inflación y esta variación es la misma para los insumos como para la mano de obra. Los insumos para el primer año son los mayores, debido que para este año se debe tener en cuenta la compra de la semilla a los viveros, adaptación del terreno, entre otros insumos, a partir del segundo año, los insumos se hacen casi constantes, debido a que los insumos son los necesarios para el

³⁶ De ellos se obtiene el cacao de mayor calidad, pero su producción representa menos de un 10% del total mundial. Se cultivan en México, Nicaragua, Venezuela, Colombia y Madagascar.

³⁷ Son los cacaos más corrientes; su producción alcanza el 70% del total mundial. Se cultivan en Ghana, Nigeria Costa de Marfil, Brasil, Costa Rica, República Dominicana, Colombia, Venezuela y Ecuador.

³⁸ Son híbridos obtenidos a partir de las variedades criollas y forasteras, pero con un rendimiento superior a éstas. Además, son más resistentes a las enfermedades que los criollos y tienen un aroma más fino que los forasteros. Actualmente representan el 20% de la producción mundial. Se cultivan básicamente en las mismas zonas productoras de cacao criollo.

mantenimiento de la planta, como lo es el abono, insecticidas, plaguicidas entre otros. La mano de obra por el contrario aumenta a medida que el tiempo aumenta, esto es debido a que la planta a medida que aumenta el tiempo requiere más cuidado, adicional a esto se debe realizar la recolección y el beneficio del fruto (fermentación, secado y clasificación)

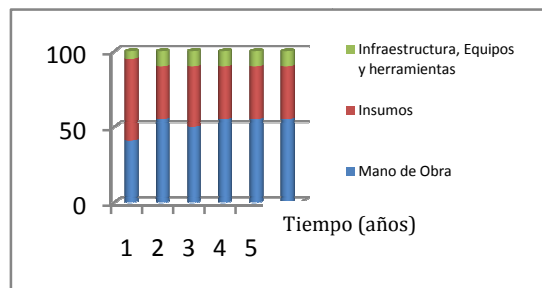


Figura 9. Participación de los factores en la estructura de costos del cultivo de cacao. Fuente: Comité Técnico – Consejo Nacional Cacaotero - Colombia

El beneficio para el cultivo empieza a estabilizar la mano de obra requerida, esto se da después de 3 años (aproximadamente 416 semanas) de empezar la producción, en donde los costos de mantenimiento y los ingresos por ventas se igualan. Desde este punto los ingresos por ventas van a ir aumentando progresivamente hasta llegar a su máximo, aproximadamente después del año 10 (520 semanas), después de este tiempo, las labores de mantenimiento son cada vez menores.

En la figura 10, se observan los ingresos obtenidos por la producción, lo cual muestra que durante el periodo de crecimiento de la planta de cacao, los ingresos van a ser constantes y son los conseguidos por la producción de la sombra.

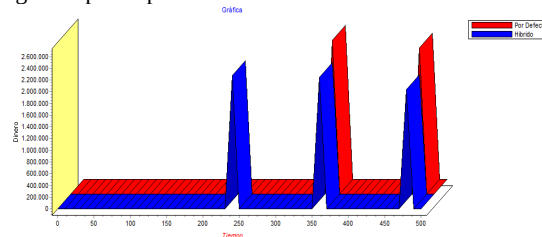


Figura 10. Ingresos de Producción

Los egresos del cultivo de cacao, en donde se tiene en cuenta el salario de los trabajadores, los cuales realizan todas las actividades concernientes al cultivo como la eliminación de malas hierbas, poda, recolección, quiebra, fermentación, secado y clasificación, este va a ser constante debido a que siempre se realizan los mismos pagos.

La figura 11 sustenta lo anterior, ya que la participación de las actividades de los costos de mano de obra para un cultivo de cacao ya sea híbridos o clones, los cuales empiezan a producir a partir del tercer año, por tanto en este periodo se siguen realizando labores de mantenimiento, pero a su vez se inicia la recolección.

Aunque el cultivo ya esté produciendo, las actividades siguen siendo las mismas pero con menor intensidad, es decir, la poda se realizara ahora cada 6 meses o cada año, y al tiempo se agregan otras actividades como lo son la recolección, quiebra, fermentación, secado y clasificación (beneficio del cacao).

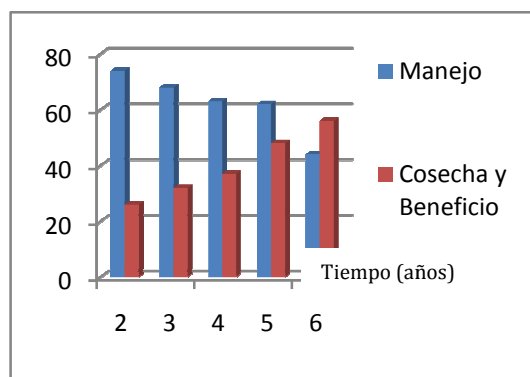


Figura 11. Participación de las actividades dentro de los costos de mano de obra. Fuente: Comité Técnico – Consejo Nacional Cacaotero - Colombia

5.3 Resultados

La construcción del modelo permitió aprender, explicar y experimentar tal y como es mencionado por Andrade dado que:

- Ha permitido conocer los aspectos relevantes de la producción de cacao, como lo son las exigencias de clima y suelo, ya que es una planta que por sus condiciones solo se da en ciertos lugares que cumplan con los requerimientos, aunque también es posible producir en otras zonas, pero no se va a obtener el mismo rendimiento.
- Existen diferentes tipos de cacao (criollo, forastero e híbridos) del cual depende el tiempo de producción, para los tipos criollo y forastero el tiempo necesario para empezar la producción es de 5 años, mientras que para híbridos se puede reducir este tiempo hasta 2 años, es decir, necesita 3 años para empezar la producción.

6. CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

El modelo de simulación del eslabón de producción de la cadena productiva del cacao es una herramienta significativa para personas que tienen vínculos con el sector agroindustrial, a través de él se pueden comprender los efectos del cambio en las condiciones tanto climáticas, de suelos y labores culturales como la poda y la eliminación de maleza. Así mismo esta comprensión puede aportar a que las fincas mejoren su competitividad en los mercados actuales, al ayudar en la toma de decisiones de propietarios y productores.

Los modelos solo son modelos, no son la realidad, pero con estos modelos, como lo propone Sterman y Forrester, el modelador y usuarios consientes pueden comprender claramente que hacen parte de un sistema mayor.

El modelo actual no es una herramienta de predicción, pero se puede ser utilizada como una útil herramienta de aprendizaje tanto para docentes como estudiantes de procesos agroindustriales y para agricultores o productores de cacao en general, ya que ayuda a lograr una visión amplia de todo proceso de producción de cacao y particularmente para conocer cómo

influye en la producción pequeños cambios en el escenario y verificar que al invertir en tecnología que facilite y mejore la calidad de las almendras obtenidas, puede obtener mejores beneficios.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BENITO Sulca José A, Paquete Tecnológico De Manejo Integrado De Cacao, Perú. Disponible en línea en: <http://www.inia.gob.pe/cacao/PAQUETE%20TECNOL%C3%93GICO%20-%20CACAO.pdf>
- [2] BORRERO Cesar Augusto, El cultivo de cacao en el Guaviare, San José del Guaviare, Mayo de 2008. Disponible en línea en: <http://borrerosesar.wikispaces.com/file/view/CULTIVO+D+E+CACAO+COLOMBIA.pdf>
- [3] CASTELLANOS Oscar Fernando y otros, Agenda prospectiva de Investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de cacao-chocolate en Colombia, Bogotá, 2007. Disponible en línea en: http://www.minagricultura.gov.co/archivos/agenda_cacao_chocolate.pdf
- [4] GAITÁN Thelma, Cadena Del Cultivo De Cacao Con Potencial Exportador, Marzo De 2005. Disponible en línea en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZztXYdhESpwJ:hidroponia.awardspace.com/cacao-cultivo-de.htm+Cadena+Del+Cultivo+De+Cacao+Con+Potencial+Exportador&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co&source=www.google.com.co>
- [5] GUTIÉRREZ Claudia Yazmin, Proyecto de Desarrollo Productivo Cadena de Valor Frutícola Análisis Del Mercado Para Cacao, Agosto 2009. Disponible en línea en: <http://www.frutal-es.com/uploads/Cacao1.pdf>
- [6] O'CONNOR Joseph y McDERMOTT Ian, Introducción al Pensamiento Sistémico, Recursos esenciales para la creatividad y la resolución de problemas, Ediciones Urano, 1998
- [7] PAREDES Mendis, Manual del Cultivo de Cacao, Ministerio de Agricultura, Perú 2003. Disponible en línea en: <http://proamazonia.minag.gob.pe/estudios/manualcacao.pdf>
- [8] VERGARA Juan y otros, Análisis de las Cadenas Productivas Agroindustriales Bajo la Óptica de la Dinámica de Sistemas: Una Aproximación al Caso de las Cadenas Productivas Agroindustriales en el Departamento de Bolívar. Disponible en línea en: http://www.observatoriomontesdemaria.org/userimagesobservatorio/file/ANALISIS_DE_LAS_CADENAS_PRODUCTIVAS_AGROINDUSTRIALES.pdf

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Una experiencia de investigación-acción en la integración de la DS en la escuela

Giovanni López Molina

Universidad Industrial de Santander

Cra 27 Calle 9

Bucaramanga, Colombia

(57) 7 6343377

glopez@simon.uis.edu.co

Hugo Hernando Andrade Sosa

Universidad Industrial de Santander

Cra 27 Calle 9

Bucaramanga, Colombia

(57) 7 6343377

handrade@uis.edu.co

Gina Paola Maestre Góngora

Universidad Industrial de Santander

Cra 27 Calle 9

Bucaramanga, Colombia

(57) 7 6343377

g.maestre@gmail.com

RESUMEN

Este artículo presenta una experiencia de aplicación de la metodología de investigación-acción en el proceso de integración de la Dinámica de Sistemas (DS) en la escuela colombiana. Experiencia que presenta su primera reflexión en el año 2008 con la pregunta por la sostenibilidad del proceso de integración de la DS en la escuela, se incluyen los elementos de la lúdica y las redes de aprendizaje para aportar a responder esta pregunta. El artículo presenta el marco conceptual asumido inicialmente para este proceso de investigación-acción, luego describe el desarrollo de tres ciclos en los cuales se modifican las estrategias y acciones realizadas que conllevan a la formulación de un nuevo marco conceptual, el cual formaliza los aportes de la Lúdica y las Redes de Aprendizaje presentando lineamientos para la acción, que permiten continuar con la dinámica de cambio del proceso de integración de la DS en la escuela.

Palabras Clave: Dinámica de Sistemas en la Escuela, Lúdica, Redes de Aprendizaje, sostenibilidad.

1. INTRODUCCIÓN

La integración de la DS a la escuela desde el preescolar hasta el último grado de educación secundaria, es un reto para la comunidad nacional e internacional de DS. En esta línea de

acción se han desarrollado esfuerzos a nivel internacional

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

como las experiencias lideradas por The CLE- Creative Learning Exchange³⁹, o la experiencia noruega de introducción de la DS a la escuela (1) y en el caso colombiano la integración de la DS en la escuela (2) promovida en el marco del proceso de masificación y uso de las TI.

La experiencia colombiana se ha guiado por un proceso de investigación-acción (3) que permite a un investigador (en particular, un grupo de investigación) intervenir en un situación humana compleja con el propósito de producir un cambio para alcanzar una situación deseada, para este caso la integración de la DS en la escuela de educación básica y media colombiana.

Este proceso de integración de la DS está orientado por una dinámica de investigación-acción, en la medida que reformula la *Propuesta Informática para la Educación en el Cambio, Basada en Ambientes de Modelado y Simulación. Un enfoque Sistémico* (4) (la investigación), y en la medida que se aplica en un colectivo de sedes educativas de educación básica y media (la acción). Esta dinámica de investigación-acción aporta elementos para profundizar dos elementos que aportan a la sostenibilidad del proceso, en primera instancia considera el uso de la lúdica como contexto para la integración de la DS, brindando elementos motivadores para romper las barreras de los profesores hacia actividades innovadoras, se desarrollan juegos y actividades lúdicas para presentar conceptos básicos de la DS y el pensamiento Sistémico, así mismo, se profundiza en los

¹Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del grupo SIMON de Investigación en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia; en el marco del 9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas 2011. Mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON: <http://simon.uis.edu.co/>

³⁹ <http://www.clexchange.org>.

aportes a la construcción de modelos mentales en el aprendizaje con DS.

Por otra parte, se promueve la conformación de un colectivo de profesores líderes de este proceso como una Red de Aprendizaje para continuar sus procesos de aprendizaje y la participación de expertos en DS para la producción colaborativa de Diseño de Actividades Escolares con DS. Esta Dinámica de investigación-acción se ha realizado en los últimos cuatro años, iniciando con la pregunta por la sostenibilidad del proceso de integración de la DS en la escuela (5). El presente artículo presenta una reflexión sobre el proceso de investigación-acción desarrollado, en particular los aportes de la Lúdica y las Redes de Aprendizaje en la búsqueda de la sostenibilidad en la búsqueda de unidad en el planteamiento de la propuesta y la experiencia realizadas, en la medida que el investigador se sumerge en la situación investigada haciendo partícipe de la misma.

2. MARCO CONCEPTUAL INICIAL

2.1 La Metodología de Investigación-Acción

Los procesos de investigación guiados por esta metodología se asumen como una acción orientada al cambio y en una dinámica de investigación-acción; es decir, como un proceso de aprendizaje. Como una primera aproximación a la definición de la Investigación-Acción se asume la realizada por (3) donde se aclara que es una investigación orientada por la necesidad de generar conocimiento específico que permita actuar en una situación humana determinada. Teniendo en cuenta que el investigador debe conocer con anterioridad el marco conceptual, la metodología para la investigación y el área de interés, así como también las relaciones entre éstas.

Otra forma de expresar el concepto de investigación-acción derivada de los planteamientos de los autores es: “un investigador que (en lugar de llevar una porción de realidad artificial al laboratorio) se sumerge en una situación humana y sigue su curso, por cualquier camino que ésta tome, a medida que la misma se despliega a través del tiempo. Esto quiere decir que el único objeto seguro de investigación es el proceso de cambio mismo” (6).

La Figura presenta un esquema que describe la metodología, se parte de la situación actual en la cual el investigador desea intervenir, luego con el marco conceptual inicial y la situación deseada o hacia donde se quiere llegar con el proceso investigativo se formulan estrategias de cambio que guían la intervención y además responden a las características de la situación actual. Las acciones y herramientas están guiadas por la estrategia de cambio (intervención) y se aplican en la situación deseada, completando el ciclo cambio2 (o ciclo de la acción). El ciclo Cambio1 (o ciclo de investigación) se completa en la medida que el ciclo de la acción se desarrolla produciendo cambios en la situación actual, lo cual junto con la postura crítica sobre el marco conceptual y la situación deseada requieren una reformulación, llevando a un cambio, mejoramiento o rediseño de la estrategia de cambio e iniciando de nuevo el ciclo de la acción.

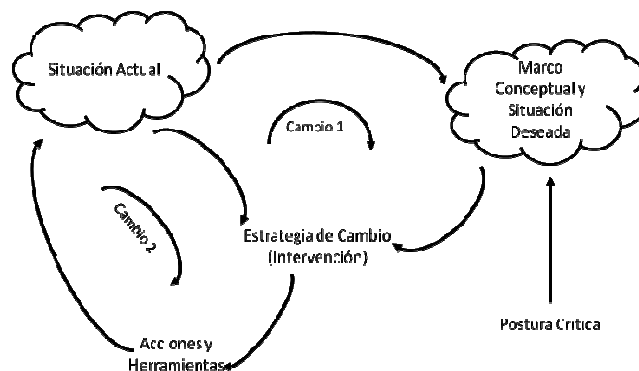


Figura 1. Metodología de Investigación-acción

El proceso de integración de la DS en la escuela parte del marco conceptual formulado en la Propuesta Informática para la educación en el cambio, basadas en ambientes de modelado y simulación, un enfoque Sistémico (4), que se reformula con los aportes desde la acción (la intervención en sedes educativas) y desde la investigación (con los aportes de los trabajos de investigación: *Propuesta de uso de la Lúdica Mediada por la TI para facilitar la integración del Modelado y Simulación en la Escuela* (7) y *Modelo de Red de Aprendizaje para proyectos de innovación educativa con TIC* (8)).

2.2 La Lúdica y la DS en la Educación.

Uno de los desafíos de la comunidad académica nacional e internacional de la DS, ha sido el integrar este lenguaje a la educación desde preescolar hasta el onceavo grado. Esto se aprecia en diversas experiencias internacionales y nacionales destacadas como:

- *The CLE - Creative Learning Exchange*⁴⁰ (Massachusetts – Estados Unidos): organización sin ánimo de lucro dedicada a promover el aprendizaje centrado en el aprendiz y la DS en la educación K-12, que desafía las ideas preconcebidas, profundizando el entendimiento de conceptos, solucionando problemas del mundo real a través del dominio del Pensamiento Sistémico y el modelado con DS.
- *Introducing system dynamics in schools: The Nordic experience* (1). Esta experiencia describe dos estudios del piloto de introducir la DS en las escuelas de educación secundaria en los países Nórdicos. El primero aborda el aprendizaje con la DS en una clase de economía y el segundo aborda el estudio de sistemas sociales y ambientales para comprender su comportamiento dinámico.
- *Experiencia Colombiana Programa Computadores Para Educar*. Desde el 2004 a el Grupo SIMON de Investigaciones⁴¹ (9) y el Grupo I+D en Tecnologías de la Información - GTI⁴², en el marco de un acompañamiento educativo que promueve la apropiación de TI por parte de la comunidad educativa, se ha llevado una propuesta de

⁴⁰ <http://www.clexchange.org>

⁴¹ Adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia.

⁴² Adscrito a la Universidad del Cauca. Popayán-Colombia.

apropiación y uso de la DS en diversas áreas del conocimiento. De esta experiencia han surgido profesores que difunden en diversos eventos el uso y el aporte que la DS puede brindar a la educación en colombiana.⁴³

La incorporación de la lúdica para promover la integración de la DS es un tema que se viene desarrollando desde hace tiempo atrás, como estrategia pedagógica para el acercamiento de los lenguajes de modelado como la DS para promover la apropiación del paradigma dinámico-sistémico en el ámbito educativo, particularmente en la educación básica, media y superior. A continuación se describen algunas de las experiencias más destacadas a nivel local e internacional en este aspecto y que marcan un antecedente importante:

Un grupo de profesores del Instituto Tecnológico de Massachusetts, creó el *Juego de la Cerveza* (10): El Juego de Distribución de Cerveza data desde los inicios de la dinámica de sistemas. El juego ha sido usado durante décadas como una introducción al pensamiento de sistemas, la dinámica de sistemas, la simulación por computador, y el aprendizaje organizacional. Este recrea una cadena de suministro de cerveza donde se distinguen cuatro posiciones: El minorista, el mayorista, el distribuidor y la fábrica. Este juego ha sido utilizado en el contexto local como apoyo a las asignaturas de pensamiento sistémico y al interior del grupo SIMON se desarrolló una herramienta software que simula el desarrollo del juego, así como es conocido su uso en diversas universidades del mundo, particularmente en las carreras afines a la administración de empresas, la ingeniería industrial y la ingeniería de sistemas.

Así mismo (11), propone Fish Banks, un juego guiado por el enfoque de dinámica de sistemas, usado como herramienta educativa para enseñar la gerencia sostenible de los recursos de la industria pesquera, sumergiendo al jugador en una experiencia de competencia que termina en la predación del recurso. El juego hace posible que los jugadores obtengan beneficios de sus decisiones en los primeros turnos para más tarde vivenciar las consecuencias de la predación del recurso.

Desde la experiencia liderada por el MIT a través del The CLE - *Creative Learning Exchange* en marco del (12) en el cual se promueve el aprendizaje centrado en el aprendiz y el uso de la DS en la educación K-12, desafiando las ideas preconcebidas, profundizando el entendimiento de conceptos, solucionando problemas del mundo real a través del dominio del Pensamiento Sistémico y el modelado con DS han surgido libros que acercan la DS al ambiente escolar de K-12 que apoyan el desarrollo de esta experiencia principalmente desde la lúdica entre los cuales se destacan: *The Shape of Change* (13). Este libro presenta un conjunto de recursos diseñados en forma de actividades lúdicas, como juegos y actividades manuales que ayudan a los estudiantes a observar cómo y por qué las cosas cambian en el tiempo. Los estudiantes participan en un juego, experimentan, y realizan actividades manuales, dibujan graficas de comportamiento a través del tiempo o dibujan diagramas

causales de los fenómenos estudiados, considerando las causas y consecuencias, adquiriendo un conocimiento más amplio del cambio alrededor de ellos y de los principios básicos del lenguaje de la DS. De igual forma *The System Thinking Playbook* (14), es un libro está lleno de lúdica y diversión, contiene ejercicios experimentales diseñados para ayudar a las personas a aprender acerca de las ideas de pensamiento de sistemas. Este ha sido usado tanto por adultos trabajando con adultos y por educadores que trabajan con niños, especialmente en marco de la experiencia de llevar el PS y la DS a las escuelas del MIT (Creative Learning Exchange). En *When the butterfly sneezes* (15) ha identificado 12 historias de niños favoritas que ilustran los principios del pensamiento de sistemas y ha creado una guía que muestra cómo usar estas historias con niños de todas las edades. Cada capítulo se enfoca en una imagen que revela los principios inherentes a los sistemas en la historia, los puntos generales para el debate y los conceptos clave.

En el ámbito local y en marco de la tesis de investigación de (16), se creó el juego de entrada y salida con cargueros, juego basado en el juego de entrada y salida propuesto por (13) en el cual se busca incrementar el grado de complejidad del juego original, agregando otras reglas y situaciones de interés apropiado para chicos y grandes. Este juego así como otros planteados en *The shape of change* han sido usados en marco del convenio CPE UIS en más de 1500 sedes educativas colombianas en marco de la etapa de formación y acompañamiento del programa Computadores Para Educar.

2.3 Las Redes Humanas y la DS en la Educación

Las redes humanas facilitan el afianzar la dinámica de trabajo presentada por el proyecto de integrar la D.S. en las escuelas Colombianas, aportando herramientas de comunicación síncronas y asíncronas, para los miembros de la red que se encuentran geográficamente distantes, permitiéndoles conocer los recursos y estrategias usados por sus pares docentes y las promovidas por los investigadores desde la universidad.

Con el surgir de experiencias se han creado organizaciones que apoyan el proyecto de la DS en la educación. Sitios web donde se presentan recursos para el trabajo en el aula de clase y redes de investigadores que publican sus experiencias en el tema. Algunas de las más conocidas son:

- *The Creative Learning Exchange*⁴⁴: este sitio web tiene como misión desarrollar ciudadanos sistémicos en la educación de Kinder a 12 grado.
- *The Cloud Institute for Sustainability education*⁴⁵: La misión del instituto es asegurar la viabilidad de comunidades sostenibles promoviendo cambios en los sistemas escolares de kinder a 12 grado, preparando jóvenes para el cambio hacia un futuro sostenible.
- *WebEd Systems Thinking in the schools Systems Thinking in the life*⁴⁶: Sitio web del proyecto de la fundación waters. El proyecto busca aumentar la capacidad de los docentes,

⁴³ Entre otros eventos, cabe mencionar el I Encuentro de Experiencias Significativas. Computadores para Educar. Junio de 2005, VIII Congreso Colombiano de Informática Educativa RIBIE. Junio 2006, II Encuentro de Experiencias Significativas. Computadores para Educar. Junio de 2007, IX Congreso Colombiano de Informática Educativa RIBIE. Julio 2008

⁴⁴ The Creative Learning Exchange; <http://www.clexchange.org/>

⁴⁵ The Cloud Institute for Sustainability education; <http://www.sustainabilityed.org/>

⁴⁶ System Thinking in Schools; <http://www.watersfoundation.org/webed/>

para entregar beneficios académicos y para la vida diaria, a los estudiantes a través del uso eficaz de los conceptos del pensamiento sistémico, hábitos y herramientas para la enseñanza en el aula de clase y el mejoramiento de la escuela.

- **RedDinámica (17):** En la búsqueda de estrategias para difundir la propuesta de aplicación de la D.S. en la educación, se desarrolló un sitio web en donde se muestra la D.S. como un lenguaje para apoyar procesos de aprendizaje en todos los niveles de educación, promover la profundización de conocimientos, la construcción de materiales y favorecer la construcción de redes de aprendizaje y el trabajo colaborativo.

Esta propuesta surge, en la búsqueda de vincular a profesionales y expertos de la D.S. en su esfuerzo por difundir el uso de la D.S. en la educación colombiana.

3. UN MODELO DE SOSTENIBILIDAD

Se presenta un modelo en DS que da cuenta del proceso de integración de la DS en la escuela, incluyendo los componentes de la lúdica y las redes humanas para buscar la sostenibilidad el proceso mismo.

La sostenibilidad del proceso de integración de la DS en la escuela se asume con la inclusión del componente lúdico y las redes humanas en la estrategia de intervención en las sedes educativas. La búsqueda de la sostenibilidad inicia con la selección, formación y acompañamiento a profesores líderes de la DS_Escuela. Se ha conformado un colectivo de profesores destacados por su participación, interés y uso de la DS en experiencias escolares, con los cuales se ha conformado una red escolar, apoyada en una plataforma web, para promover el intercambio y la socialización de experiencias, materiales; red que a su vez ha asumido la tarea de profundizar su formación en este campo y su papel de orientadores y difusores (5).

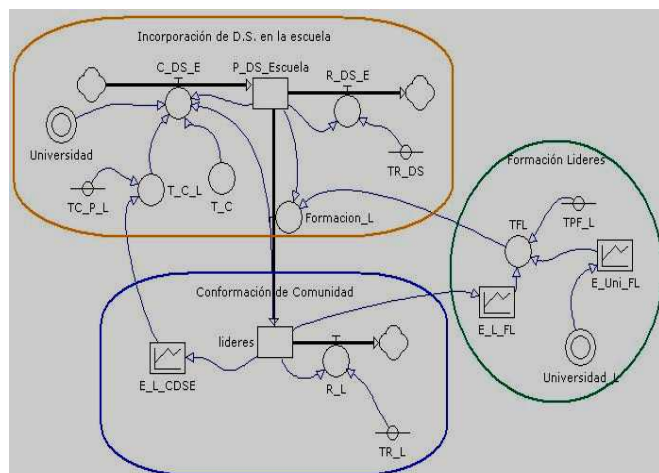


Figura 2. Modelo de Integración de la DS en la escuela.

Los componentes de la lúdica y las redes humanas se integran a la estrategia de integración de la DS en la escuela, estrategia promovida por una agente exógeno (la universidad) a las sedes educativas intervenidas. La intervención se genera en el marco de un proceso de inserción de Tecnologías de la Información (TI) en los ambientes y practicas escolares colombianas.

La Figura muestra el diagrama de Forrester que ilustra el proceso de integración de la DS en la escuela, se destacan los sectores de formación de líderes, quienes hacen parte de la red humana que busca conformar una comunidad que pueda sostenerse por su cuenta mediante la vinculación y formación de nuevos participantes⁴⁷.

La Figura muestra una curva que representa la presencia esperada de la DS en la escuela con la inclusión del componente lúdicos y las redes humanas para alcanzar la sostenibilidad.

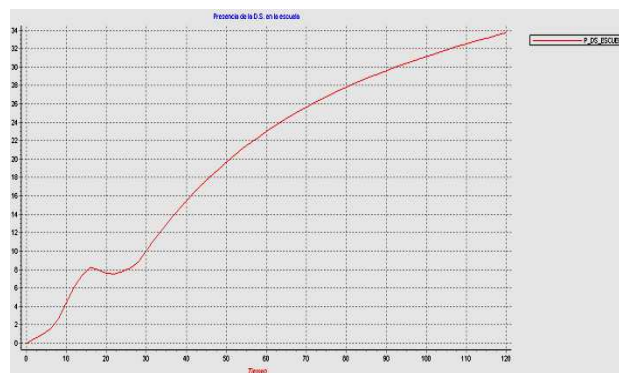


Figura 3. Presencia sostenible de la DS en la escuela con líderes escolares trabajando en red.

4. LA DINÁMICA DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN

Esta sección busca describir mediante ciclos del proceso de investigación-acción la dinámica de cambio de la integración de la DS en la escuela colombiana, en particular la búsqueda por la sostenibilidad de esta integración en las sedes educativas intervenidas. La Dinámica presentada surge de la reflexión del investigador sobre el proceso realizado y como este proceso modifica el marco conceptual inicial y aporta a su reformulación. En general, esta dinámica describe el proceso de integración de la DS en la Escuela Colombiana por medio de ciclos que resumen los cambios principales en la estrategia y la propuesta. A continuación se presentan tres ciclos que ilustran el proceso de integración de la DS en la escuela colombiana, el primero se titula *Buscando la sostenibilidad*, donde se describe el surgimiento de la pregunta por la sostenibilidad a partir de las acciones realizadas en las sedes educativas, el segundo titulado *Creando Diseño de Actividades Escolares* el cual se enfoca en las diversas experiencias de aplicación de los elementos de la Lúdica y las Redes de Aprendizaje, por último el ciclo titulado un *nuevo marco conceptual* presenta la formalización por medio de trabajos de investigación de maestría de los aportes de la Lúdica y las Redes de Aprendizaje.

4.1 Ciclo 1-Buscando la sostenibilidad

Este primer ciclo (Figura) plantea como situación actual el proceso de integración de la DS en la escuela, es decir, un proceso que se ha desarrollado desde el año 2004 (2) y sobre el cual se analizan sus posibilidades y limitaciones (9). Esta experiencia de aplicación y reflexión lleva a plantear una situación deseada en la cual el proceso sea sostenible, es decir,

⁴⁷ Este modelo se describirá en detalle en la versión completa de este artículo.

que pueda continuar una vez termine la intervención del investigador.



Figura 4. Ciclo 1 de investigación-acción buscando la sostenibilidad

Se asume como estrategia el uso de la lúdica y las redes humanas en el proceso de integración de la DS en la escuela, orientado principalmente hacia la formación de profesores para que desarrollen competencias en DS, en el diseño de actividades escolares apoyados en DS y en contextos lúdicos para facilitar el proceso de aprendizaje de los alumnos.

La creación de redes humanas se inicia a partir de la selección de un colectivo de profesores líderes que participan en procesos de formación para profundizar en la labor de integrar la DS en la escuela. El colectivo interactúa a través de un sitio web para facilitar su comunicación y el compartir experiencias de aplicación con los estudiantes.

4.2 Ciclo 2. Creando Diseños de actividades Escolares

Este segundo ciclo (Figura) hace énfasis en la acción, es decir, en las diversas actividades de intervención en las sedes educativas y los resultados alcanzados. Se promueven proyectos institucionales y de aula que integran la DS como medio para la construcción de conocimiento y como objeto de estudio.



Figura 5. Ciclo 2 Desarrollando acciones para la creación de Diseño de Actividades Escolares

El aprendizaje con DS se orienta hacia el cambio de los modelos mentales del aprendiz, asumiendo El concepto de *modelo mental* engloba todas aquellas nociones que un individuo puede tener sobre sus objetivos o intereses y sobre la red de causas y efectos

de la realidad (18). Los resultados de este proceso de aprendizaje a través del cambio de los modelos mentales se detallan en *La Dinámica de Sistemas en La Escuela, Construyendo Modelos Mentales para a Toma de Decisiones Cotidianas- Una Experiencia Colombiana-* (19).

Otra experiencia que da cuenta del uso de la lúdica para facilitar la integración de la DS en las actividades escolares se titula *Una Experiencia escolar con modelado y simulación para la comprensión de un fenómeno: el caso de la influenza A(H1N1)* (20). Experiencia demandada por la preocupación de motivar en la comunidad educativa la construcción de modelos mentales, a través de la dinámica de sistemas, en un proceso de aprendizaje para el consumo eficiente de la energía al cocinar; aprendizaje orientado a que las personas tomen, algunas decisiones cotidianas, basadas en el conocimiento y, en general, a que el aprendizaje escolar, en términos de explicaciones científicas, haga parte de los modelos mentales del aprendiz y por consiguiente influya en las decisiones cotidianas, comprendiendo como las acciones individuales a menudo son de gran impacto en una comunidad (Ibíd.).

Adicionalmente, en este ciclo se profundiza en las acciones para conformar las redes humanas, llevando a la inclusión de la noción de Redes de Aprendizaje (sección V) en la estrategia de intervención. Se busca la participación de especialistas en DS para mejorar la rigurosidad de las prácticas y productos que se utilizan en la integración la DS en la escuela. Rigurosidad en términos de la explicación científica que requiere una formulación matemática para que las simulaciones sean confiables para el usuario, y en el lenguaje de la DS para que muestre todas sus posibilidades de recrear fenómenos complejos dinámicos. Se presenta una propuesta para buscar un trabajo conjunto entre el especialista en DS y las comunidades escolares que desarrollan este proceso, apoyada en el trabajo colaborativo y a distancia. Los resultados de este ciclo de investigación-acción se presentan detalladamente en *Red de Aprendizaje para El Modelado y Simulación en la Escuela Colombiana* (21), donde se presenta un colectivo de profesores de instituciones educativas de educación básica y media, geográficamente distantes, que buscan innovar sus prácticas educativas, aprendiendo DS y con DS y de cómo conforman la red de aprendizaje, su creación, los encuentros presenciales para profundizar su formación, de algunas actividades realizadas en el aula, y los resultados obtenidos durante el primer año de actividades. Así mismo, busca reflexionar sobre los retos a futuro de esta red de aprendizaje. De la misma forma, en *Los Especialistas y la Integración del Modelado y Simulación en la Escuela –Una propuesta de trabajo de colaborativo-* (22) se hace un llamado a la comunidad colombiana y latinoamericana de DS para que participe aportando su experticia en la conformación de la Red de Aprendizaje para la integración de la DS en la escuela.

4.3 Ciclo 3. Un Nuevo Marco conceptual

El ciclo de la Figura, describe el estado actual del proceso de integración de la DS en la escuela, en general se recorre del ciclo de investigación surgido de las experiencias y resultados en el ciclo anterior y de los aportes al conocimiento desde la academia (*propuesta de uso de la lúdica mediada por la TI para facilitar la integración del modelado y la simulación en la escuela* (7) y *Modelo de Red de Aprendizaje para proyectos de innovación educativa con TIC* (8)). Estas propuestas buscan formalizar desde el rigor científico que exige la academia el

aporte de la Lúdica y las Redes de Aprendizaje al proceso de integración de la DS en la escuela colombiana. En el siguiente ítem (sección 5) se presenta con detalle los aportes de cada uno de los elementos antes mencionados para cualificar la estrategia del uso de la Lúdica y las Redes de Aprendizaje, estos elementos generan nuevas orientaciones, metodologías para el diseño de actividades escolares, metodologías de formación para los docentes participantes, útiles informáticos y lineamientos para la creación de Redes de Aprendizaje Auto sostenibles que continúen con la construcción del conocimiento sobre los aportes de la DS a la escuela y sobre las mejores formas para su integración en el contexto escolar.

En resumen, se busca, partiendo de este nuevo marco conceptual la autosostenibilidad de integración de la DS en la escuela, es decir que el proceso continúe, en una dinámica de cambio permanente de sus prácticas y su marco conceptual sin la presencia del agente exógeno que lo promovió inicialmente.

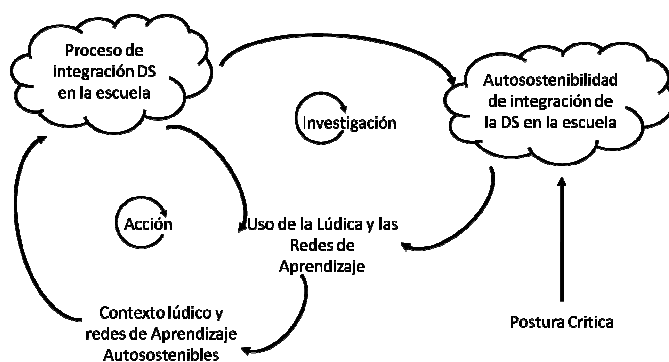


Figura 6. Ciclo 3. Un Nuevo Marco Conceptual

5. MARCO CONCEPTUAL EN EL CICLO ACTUAL

El marco conceptual del ciclo actual se fundamenta en la propuesta para el uso de lúdica (7) y la formación de redes de aprendizaje con la participación de los docentes y los especialistas en DS (8)

5.1 La lúdica para Facilitar la integración de la DS en la escuela

La propuesta la lúdica para facilitar la integración de la DS en la escuela, está estructurada en términos de lineamientos conceptuales: que permiten asumir unos fundamentos teóricos que brindan un contexto conceptual que soporta la propuesta, unos lineamientos metodológicos que orientan el cómo se puede implementar la propuesta, describiendo la población objetivo, los objetivos de la misma y describiendo las acciones propuestas, acciones orientadas fundamentalmente a la formación de docentes, y se presentan los lineamientos instrumentales que describen las herramientas e instrumentos necesarios para llevar a cabo la propuesta (23).

Partiendo de los antecedentes presentados en II, se constituye un contexto teórico y conceptual que permite que a partir de unos supuestos o consideraciones asumidas se aborde la construcción de la propuesta del uso de la lúdica para integrar el MS a la escuela. De manera general este contexto se asume como: un contexto de aprendizaje (lúdico), en el que se viven experiencias

y actividades lúdicas que permiten promover y facilitar la reflexión y la construcción del conocimiento haciendo uso de las diversas posibilidades que ofrece el modelado y simulación de enfoque estructural, lo anterior se sintetiza en Figura

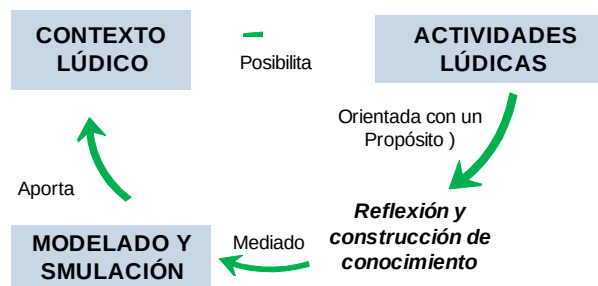


Figura 7. Descripción del contexto en el que se asume la propuesta

Para facilitar la comprensión y ampliar conceptualmente el contexto descrito anteriormente las consideraciones asumidas se han abordado contemplando tres dimensiones: las relacionadas con el contexto lúdico, las que se refieren a las actividades lúdicas y las pertinentes al modelado y simulación.

5.1.1 Desde el contexto lúdico (Contexto en el que se desarrolla el aprendizaje): desde esta dimensión se asume que:

De manera general la lúdica se refiere a la necesidad que tiene toda persona de sentir emociones placenteras, asociadas a la incertidumbre, la distracción, la sorpresa o la contemplación gozosa. (24)

La lúdica se manifiesta en la relación del sujeto con el juego. El juego por sí solo no se considera lúdico, es en la acción de jugar cuando el sujeto califica un juego como placentero, de su agrado, es decir, como una actividad lúdica.

La lúdica puede asumirse desde diversas perspectivas: como constitutiva del contexto en el cual se promueve la propuesta; contexto al cual le son pertinentes actividades como juegos, experimentos y simulaciones, en vivo y mediante herramientas informáticas.

La lúdica constituye un contexto significativo para los profesores con los que se pretende propósitos específicos de formación, tales como desarrollar conocimientos y habilidades que facilitan la labor de llevar el MS a sus estudiantes.

5.1.2 Desde las actividades lúdicas: Desde esta dimensión se asume lo siguiente:

Juego: Conjunto de acciones que se crea en un contexto cultural en el cual la acción de jugar (dicho juego) es placentera para la mayoría de personas, como una acción o una actividad voluntaria, realizada en ciertos límites definidos de tiempo y lugar (25)

Se plantean las actividades lúdicas en un principio para lograr aprendizajes concretos (aprendizajes sobre los lenguajes formales de la DS y conceptos básicos como sistema, flujo, realimentación, etc.), actividades orientadas a vivir experiencias o simulaciones en vivo y con el uso de simuladores informáticos, que permitan experimentar con diversas situaciones, tomando como base los principios del aprendizaje experiencial, “el proceso mediante el cual una experiencia puede

llegar a producir un nuevo conocimiento o aprendizaje, que es estable en el tiempo y se traduce en nuevos comportamientos en las actividades del individuo..” (26)

Hacer explícito el componente lúdico en la mayoría de actividades en las que se promueva el uso de MS. Este elemento aparece tanto en los aspectos metodológicos en general y como, en particular, en los instrumentos y recursos que apoyan el desarrollo de las actividades.

En la integración del MS a la escuela, vista como un proyecto de innovación educativa, la sostenibilidad es fundamental para alcanzar a mediano y largo plazo los objetivos propuestos.

5.1.3 Desde el Modelado y simulación

Promover una innovación educativa, en particular el MS, tiene de por sí posibilidades y limitaciones (9). Se considera y se ha confirmado en la experiencia, que algunas de las limitaciones pueden superarse con la lúdica.

Con el MS con DS se da la posibilidad de aprender que un modelo es significativo para el aprender, el comprender y el explicar, ya que el mismo puede entenderse como una construcción que explica (“reproduce” o “representa”) la realidad en forma esquemática para hacerla comprensible, permitiendo volver cercana y concreta una idea o un concepto para su apropiación y manejo, para de esta manera operar transformaciones o procedimientos experimentales que permitan la formulación de conjeturas y razonamientos rigurosamente argumentadas (objetivos).

Las herramientas informáticas, en particular los simuladores, juegos de simulación o juegos por computador o celulares pueden facilitarle a las personas experiencias lúdicas, el promover su uso se ha apreciado atractivo para acercar el MS a la escuela.

5.2 Las Redes de Aprendizaje para la integración de la DS en la Escuela

Las Redes de aprendizaje aportan a la sostenibilidad de la integración de la DS en la escuela en la medida que permiten generar espacios en los cuales los actores del proceso pueden aprender juntos y en colaboración sobre DS y su llevar al aula de Clase. El modelo de Red de Aprendizaje propuesto está guiado por la Metodología de Sistemas Blandos para orientar su proceso de gestión, en particular la gestión del cambio de la comunidad y la organización que conforman, así como el soporte tecnológico que le proporciona servicios de comunicación y gestión de conocimiento. En particular define los lineamientos para la creación, gestión organizacional y de conocimiento; el diseño de alto nivel del soporte software coherente con el modelo propuesto (8).

Se asumen la siguiente definición de Red de Aprendizaje:

“Las Redes de Aprendizaje son grupos de personas con el deseo común de aprender, se encuentran inmersas en un contexto de red, en el cual son conscientes de y dirigen su proceso de aprendizaje, apoyados por soporte informático para facilitar la comunicación y la gestión del proceso de aprendizaje” (Ibíd.).

Para el caso de la integración de la DS en la escuela la Red de Aprendizaje tiene como propósito consolidar la integración del DS en la escuela por parte de los profesores de IE que han participado en un proceso de formación sobre DS en la educación. Se espera generar la sostenibilidad de esta integración en la medida en que los docentes generan experiencias de aprendizaje de la DS y con DS y comparten los

aprendizajes alcanzados y las dificultades presentadas (27). Además se busca dinamizar mediante la DS el desarrollo de competencias de las diferentes áreas mediante las cuales se estructura el conocimiento en el ambiente escolar. Además, se plantea que este propósito demanda el dominio y el uso apropiado de la DS, asumiéndolo de manera consciente, desde el paradigma de Pensamiento Sistémico.

La red de profesores espera convertirse en una comunidad que trabaja que promueve la integración del MS en la escuela, en el ámbito colombiano y latinoamericano. La red espera vincular expertos en DS de la comunidad colombiana y latinoamericana, buscando cualificar el desarrollo de materiales que contengan modelos en DS. Además, se espera que sus miembros se conviertan en líderes y aporten a la sostenibilidad del proceso.

5.2.1 Lineamientos para la gestión de la Red de Aprendizaje

Los lineamientos para la gestión de la red orientan el trabajo desarrollado por los diferentes miembros de ésta, desde cada uno de sus roles. Definen las políticas iniciales de participación en las diferentes actividades, las normas de publicación e intercambio de recursos entre los miembros y con el contexto externo de la red.

Al reflexionar sobre la idea de Red de aprendizaje desde el punto de vista de la gestión, surgen una idea que aporta a vislumbrar el fondo epistémico de un colectivo que busca aprender para sí y para el todo general (con una visión holística), surge entonces la pregunta por el estudio de la red como una organización, abordado desde las ideas del PS, particularmente desde el enfoque de la Metodología de Sistemas Blandos de Checkland (28), la cual surge dentro del movimiento de sistemas, como una forma de pensamiento sistémico apropiado para lidiar con situaciones humanas complejas (6). Consideramos una red de aprendizaje una situación humana compleja, donde los miembros en la red pueden jugar diferentes roles, en el mismo instante y con el transcurso del tiempo, la gestión debe distribuirse, las relaciones en la organización se influyen por las relaciones sociales entre sus miembros, por ejemplo la confianza y el reconocimiento, estos matices aunque existentes en las organizaciones de tipo jerárquico son más fuertes en una red de aprendizaje, donde no existe una relación de poder piramidal. Estos elementos nos orientan a proponer unos lineamientos iniciales que deben ser construidos y reconstruidos por la red misma. En los siguientes apartados se presentan los elementos definidos de una primera iteración de su proceso de construcción.

5.2.2 Roles de los miembros de la red

Tomando como punto de vista las organizaciones humanas, éstas tienen sentido en un contexto social definido por las personas y su visión de la organización, los roles en la red de aprendizaje se plantean desde esta perspectiva y se espera que estos se modifiquen en la medida que la red misma lo requiera. A continuación se presenta los roles definidos para la red.

Usuario: Es la persona interesada en integrar la DS en la escuela (generalmente un profesor de educación básica o media), que busca profundizar en estrategias y nuevos conocimientos sobre la DS, su integración con el currículo y con las actividades en el aula de clase.

Los usuarios pueden ejercer su rol en la red proponiendo, desarrollando o consultando los materiales (lecciones, modelos y

otros recursos) con DS para realizar proyectos institucionales, de clase y aula y para el aprendizaje de la DS. Adicionalmente, puede compartir y conocer las diversas experiencias de aplicación de la DS en la escuela.

Especialista: Es un experto en el uso del DS, generalmente en el marco de su actividad académica, que aporta y procura por la calidad de los recursos, particularmente de los modelos utilizados en los diferentes materiales. En este rol se espera la participación de miembros de la comunidad latinoamericana de DS.

El especialista aporta a la comunidad escolar en la medida que apoya la construcción de ambientes de modelado y simulación y modelos que recrean situaciones de interés para la escuela, buscando darle rigurosidad en términos del conocimiento y la DS.

Promotor de la red: Este rol está asignando al promotor inicial de la red, para este caso el grupo SIMON de investigación, cuyos miembros cumplen las funciones de convocatoria y difusión inicial de la red, gestión de la red y promotor de algunos espacios de socialización.

Se espera que el rol de promotor de la red se desdibuje en el tiempo, dando paso a una comunidad que se sostiene y administra por cuenta propia, es decir, puede llegar a formar una comunidad de aprendizaje.

5.2.3 Políticas de participación, publicación e intercambio de recursos.

Una política según la Real Academia de la Lengua Española⁴⁸ son *orientaciones o directrices que rigen la actuación de una persona o entidad en un asunto o campo determinado*, con esta definición las políticas en la red de aprendizaje proveen elementos a sus miembros para la convivencia en la red, es decir, una conjunto de orientaciones iniciales a las cuales se acogen las personas que ingresan a la red. Estas políticas nace con la creación de la red y en la medida que la red evoluciona, lo deben hacer también las políticas, ajustada de común acuerdo entre los miembros de la red.

La política de participación define las orientaciones para el ingreso y la participación en la red con los siguientes lineamientos:

- Pueden participar cualquier persona de una comunidad educativa (profesor, directivo o administrativo) y expertos en DS interesados en conocer y aprender sobre la integración de la DS en la escuela.
- Todas las participaciones realizadas deben enmarcarse en el respeto mutuo entre los miembros de la red.
- Las participaciones pueden expresar un aporte o una reflexión sobre la temática tratada, en un ambiente de reconocimiento de las opiniones y sugerencias de los demás participantes de la red.
- Todos y cada uno de los miembros de la red debe ser responsable por los compromisos establecidos para alcanzar el aprendizaje individual y colectivo.

Las políticas de publicación en intercambio de recursos se basan en la libre distribución y el reconocimiento de la autoría de los materiales publicados en la red, los documentos, modelos, actividades de clase, proyectos institucionales, de aula y de clase, pueden usarse y distribuirse libremente con propósitos

educativos, no comerciales, reconociendo los derechos morales de los autores.

Las obras producidas en colaboración deben reconocer la participación de todos y cada uno de los autores, como es el caso de las lecciones, que se construyen con el aporte de varios miembros de la red y el experto en DS.

Los miembros de la red pueden intercambiar materiales producidos en la red o externos a la misma, siempre y cuando no se violen los derechos de autor.

5.2.4 Políticas de recompensas

Como estrategia para fomentar una participación activa y sostenida de los participantes se hace necesario definir políticas de recompensa para los aportes destacados en la dinámica de la red. En general se parte de la idea de (29) en la cual se proponen cuatro formas principales para promover y fomentar la participación:

- **El acceso personal:** la expectativa previa que tiene el estudiante de recibir información apropiada y útil a cambio de información.
- **Reputación personal:** el sentimiento de mejorar su influencia o visibilidad en la red que conduce a obtener más estatus o liderazgo en los trabajos o productos de la red.
- **Altruismo social:** Se percibe la eficacia de la Red de Aprendizaje en el intercambio de conocimientos como un "bien público", especialmente cuando las contribuciones se consideran importantes, relevantes, y relacionadas con los resultados.
- **Premios tangibles:** los estudiantes gestionan para obtener a cambio algún activo tangible (recompensa financiera, bonos, libros, etc.).

Las anteriores ideas forman una base conceptual y un precedente para la aplicación de políticas de recompensas entre los miembros de la red de profesores de MS en la escuela, para dinamizar la participación de los profesores y promover una búsqueda por el liderazgo, en la cual se procure por la calidad de las participaciones y por la difusión de actividades realizadas en espacios fuera de la red.

La red de profesores de DS en la escuela trabaja por realizar aportes a la educación básica y media colombiana, con una propuesta de integración de la DS para promover un cambio de paradigma en la escuela. Los profesores son conscientes de este propósito, se consideran pioneros en el trabajo en esta área y consideran que aportan al desarrollo de nuevas prácticas de enseñanza y aprendizaje con el uso de la tecnología.

6. CONCLUSIONES

- La metodología de investigación-acción ha permitido realizar esta experiencia de integración de DS en la escuela Colombiana, gracias a que permite gestionar con un contexto cambiante que demanda una dinámica de formulación y reformulación de la propuesta de inicial y los diferentes útiles y elementos conceptuales abordados.
- El presentar el modelado y simulación con DS a través de la lúdica facilita su uso posterior, ya que estas actividades generan entusiasmo y expectativa, en las que los profesores van descubriendo el rol de la DS dentro del proceso de aprendizaje, es decir no se presenta solo la DS sino que se presenta contextualizado en una actividad lúdica que para ellos es significativa y atractiva (7).

⁴⁸ <http://www.rae.es/rae.html>

- los profesores participantes del colectivo comparten entre sí las experiencias de realizar actividades integrando la DS en sus actividades de clase y profundizan su formación en cuanto al aprendizaje sobre DS y con DS, de esta forma, los profesores pueden aprender y mejorar, cada uno, las actividades que desarrolla en su ambiente escolar (8).
- La propuesta de integración de la DS en la escuela se ha contextualizado para el caso colombiano, sin embargo sus elementos conceptuales y orientaciones metodológicos pueden aportar significativamente a la promoción de otras experiencias a nivel latinoamericano, la participación de especialistas en DS y docentes en Redes de Aprendizaje facilita este propósito, permitiendo construir en colaboración útiles y estrategias para diferentes contextos.

7. REFERENCIAS

- [1] Davidsen, P., Bjurklo, M. y Wikström, H. Introducing Systems Dynamics in schools: the Nordic experience. 2, 1993, System Dynamic Review Vol. 9. No. 2, pp. 165-, Vol. 9, págs. 165-181.
- [2] Andrade Sosa, Hugo Hernando Y Maestre Gongora, Gina Paola. Acompañamiento educativo en el proceso de apropiación de la Tecnología de la Información por comunidades colombianas-Proyecto Computadores Para Educar-. Caracas : Noveno Congreso Iberoamericano de Informática Educativa, 2008.
- [3] Checkland, Peter B Y Holwell, S. Action Research: Its Nature and Validity. 1, 1998, Systemic Practice and Action Research, Vol. 12, págs. 9-22.
- [4] Navas Garnica, Ximena Marcela. Propuesta informática para la educación en el cambio, basada en ambientes de Modelado y Simulación. Un enfoque Sistémico. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2006. Tesis de Maestría.
- [5] Andrade Sosa, Hugo Hernando, Maestre Gongora, Gina Paola y López Molina, Giovanni. La lúdica y las redes humanas como estrategia para promover la sostenibilidad de la dinámica de sistemas en las escuelas colombianas. Santiago de Chile : s.n., 2008. Sexto Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas.
- [6] Andrade Sosa, Hugo Hernando, y otros. Pensamiento Sistémico. Diversidad en búsqueda de unidad. Bucaramanga : Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2001. ISBN 958-9318-78-9.
- [7] Maestre Gongorá, Gina Paola. Propuesta de uso de la Lúdica Mediada por la TI para facilitar la integración del Modelado y Simulación en la escuela. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : s.n., 2011. Tesis de Maestría.
- [8] López Molina, Giovanni. Modelo de Red de Aprendizaje para proyectos de innovación educativa con TIC. Escuela de Ingeniería de Sistemas e informática, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : s.n., 2011. Tesis de Maestría.
- [9] Andrade Sosa, Hugo Hernando, Maestre Gongora, Gina Paola y Gomes, Merly Sulgey. Posibilidades y limitaciones para llevar la dinámica de sistemas a la escuela Una experiencia colombiana. Buenos Aires : s.n., 2007. Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas.
- [10] MIT. The Beer Game. Escuela de administración SLOAN de Instituto Tecnológico de Massachussets. Massachussets : s.n., 1960.
- [11] Meadows, Dennis . Fish Banks Ltd. A microcomputer Assisted Simulation Teaching the principles for sustainable management of renewable resources. s.l. : The International Network for resources information, 1987.
- [12] MIT. System Dynamics in Education Project. [En línea] <http://sysdyn.clexchange.org/>.
- [13] Queden, R, Tickotsy, A y Lyneis, D. The Shape of Change. Massachusetts : Acton, Creative Learning Exchange., 2004.
- [14] Booth, L y Meadows, D. The System Thinking Playbook. s.l. : Institute for Policy & Social Science., 1995 .
- [15] Booth, Linda. When a Butterfly Sneezes: A Guide for Helping Kids Explore Interconnections in Our World Through Favorite Stories . s.l. : Pegasus Communications , 2001.
- [16] Navas, Ximena. Propuesta Informática para la Educación en el Cambio, Basada en Ambientes de Modelado y Simulación. Un enfoque Sistémico. Maestría en Ingenierías., Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : s.n., 2006. Trabajo de Investigación.
- [17] Andrade Sosa, Hugo Hernando Y Castañeda, Lilian Rocio. Sitio Web para facilitar el aprendizaje de la Dinámica de Sistemas en la educación. Barranquilla : s.n., 2008. IX Congreso Nacional de Informática Educativa.
- [18] Andrade Sosa, Hugo Hernando, Sotaquira, Ricardo y Gelvez, Lilia. Una revisión Crítica del Aprendizaje Organizacional con Dinámica de Sistemas. 1996. Coloquio Latinoamericano de experiencias con el enfoque sistémico y la investigación - acción participativa.
- [19] Andrade Sosa, Hugo Hernando y Maestre Gongora, Gina Paola. La dinámica de sistemas en la escuela, construyendo modelos mentales para la toma de decisiones cotidianas - una experiencia colombiana- . Santa Marta : s.n., 2009. ISBN 978-958-44-5920-2.
- [20] Andrade Sosa, Hugo Hernando y Maestre Gongora, Gina Paola. Una Experiencia escolar con modelado y simulación para la comprensión de un fenómeno: el caso de la influenza A(H1N1). 27, Bogotá D.C. : Universidad Pedagógica Nacional Red de Cualificación de Educadores en Ejercicio, RED-CEE, Julio-Diciembre de 2009, nodos y nudos, Vol. 3, págs. 91-104. ISSN: 0122-4328.

- [21] Andrade sosa, Hugo Hernando Y López Molina, Giovanni. Red de Aprendizaje para el Modelado y Simulación en la Escuela Colombiana. SantaMarta, Colombia : s.n., 2009. Latinoamérica, una comunidad que aprende Dinámica de Sistemas y con Dinámica de Sistemas. págs. 587-594. ISBN 978-958-44-5902-2.
- [22] López Molina, Giovanni; Andrade Sosa , Hugo Hernando; Los especialistas y la integración de la DS en la escuela - una propuesta de aprendizaje colaborativo-. Medellín : Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2010. La Dinámica de sistemas para la efectiva toma de decisiones y análisis estratégico de problemas. págs. 69-76. ISBN: 978-958-696-874-4.
- [23] Maestre Gongorá, Gina Paola. Propuesta de uso de la Lúdica Mediada por la TI para facilitar la integración del Modelado y Simulación en la escuela. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : s.n., 2011. Tesis de Maestría.
- [24] Yturalde, Ernesto. La lúdica en el aprendizaje experiencial. [En línea] 2008. [Citado el: 08 de 10 de 2008.] www.ludica.org.
- [25] Huizinga, Joahn. Homo ludens. Madrid : Alianza, 1938/1972. págs. 52-53.
- [26] Kolb, David y Otros. Psicología de las organizaciones. Experiencias. Mexico : Prentice Hall Hispanoamericana, 1977.
- [27] Grupo SIMON de investigación. Red de profesores líderes en el uso del MS en las escuelas del proyecto CPE. Escuela de Ingeniería de Sistemas e informática, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : s.n., 2008. Informe de investigación.
- [28] CHECKLAND, Peter Y SCHOLLES, Jim. Soft System Methodology in Action. England : John Wiley & Sons Ltd., 1990.
- [29] Hummenl, Hans G.K., y otros. Fostering participation in learning networks by using reward systems and face-to-face meetings. Kerkrade, The Netherlands : s.n., 2006. Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'06). págs. 534-536. ISBN: 0-7695-2632-2.
- [30] Queden, R., Tickotsy, A. y Lyneis, D. The Shape of Change. Masachusetts: Acton : Creative Learning Exchange, 2004.
- [31] Booth, L. y Meadows, D. The System Thinking Playbook. s.l. : Institute for Policy & Social Science, 1995.
- [32] Booth, L. When a Butterfly Sneezes: A Guide for Helping Kids Explore Interconnections in Our World Through Favorite Stories . s.l. : Pegasus Communications, 2001

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas
 14 al 16 de septiembre del 2011
 Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario
 Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas
 Bogotá – Colombia

Sobre La Dinámica de un Sistema de Gestión de Inventarios

Fernando Guerra Avellaneda
 Universidad Central
 (571) 3239868
 fguerrea@ucentral.edu.co

Fabián Augusto Varón Rozo
 Universidad Central
 (571) 3239868
 fvaronr@ucentral.edu.co

Mario Julián Cañón Ayala
 Universidad Central
 (571) 3239868
 mcanona@ucentral.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se modifican las estructuras de realimentación empleadas para capturar las políticas de gestión que gobiernan los flujos del inventario de construcciones que han sido parte del modelo de sistema Macroeconómico de Inversión de capitales en Estados Unidos. Las modificaciones realizadas se caracterizan por conservar el espíritu de las heurísticas de anclaje y ajuste, y logran establecer políticas robustas que derivan en la convergencia oportuna a los valores deseados, una disminución en el sobrepaso y la estabilidad del sistema de inventarios. Se ha optado por trabajar en el espacio de estados, dado que las técnicas de control contemporáneas han tomado dirección en ese sentido y puesto que el análisis cualitativo se capitaliza a partir del esbozo de los diagramas de fase. La metodología de la Dinámica de Sistemas con su visión sistémica, principalmente mediante el análisis de subsistemas, ayuda a la experimentación e identificación de elementos que generan comportamientos no fácilmente previsibles que afectan a todo el sistema.

Palabras Clave

Gestión de Inventarios, heurísticas de anclaje y ajuste, simulación, estabilidad de sistemas.

1. INTRODUCCIÓN

La cadena de abastecimiento es el conjunto de estructuras y procesos que una organización emplea para entregar una salida a un cliente. La cadena mantiene y controla inventarios de distinta naturaleza y su propósito es entregar la salida correcta en el

tiempo correcto de acuerdo a los requerimientos del cliente [9]. El estudio de la dinámica de sistemas de inventarios surge por la necesidad de las organizaciones de responder oportunamente a los cambios en la demanda de los clientes y a los retos que impone el cambio tecnológico en el reemplazo de productos, procesos, servicios, técnicas y diseños [2]. Esto implica que la gestión de Inventarios no puede desligarse del propósito de toda cadena de

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

abastecimiento, y en esa vía exhibe los fenómenos de oscilación, retrasos y amplificación presentes en la propia cadena [3], [4]. Aquí corresponde indagar en la estructura y el comportamiento del sistema de gestión de Inventarios imbricado en la cadena de abastecimiento para de esta forma, abonar en la comprensión de tales fenómenos. El punto de partida de los autores es el estudio del subsistema de gestión del inventario de construcciones del sistema Macroeconómico de Inversión de capitales en Estados Unidos propuesto en [5] y desarrollado desde el enfoque de Dinámica de Sistemas en [9].

Los sistemas de inventarios involucran entonces, retrasos, excesos, oscilaciones, realimentación y no linealidad que dificultan la toma de decisiones incluso para los más capacitados gestores, muy a pesar de la disponibilidad de simuladores y juegos gerenciales. Por ejemplo en [7] se encuentran serios indicios de que incluso profesionales altamente calificados y experimentados no gestionan los inventarios más simples de sistemas de producción, haciendo necesario redefinir políticas que conserven el espíritu de las heurísticas de anclaje y ajuste (caracterizadas por iniciar con un punto de referencia relevante que se ajusta para llegar a un valor final deseado), sacando provecho tanto del análisis por subsistemas que ofrece la dinámica de sistemas, como las técnicas cualitativas propias de los sistemas dinámicos; que permitan en conjunto comprender las relaciones entre estructura y comportamiento del sistema de inventarios estudiado y garanticen la estabilidad del mismo.

El ejemplo que se trabaja aquí es un subsistema del modelo macroeconómico desarrollado en el MIT (aborda algunos defectos de la función neoclásica), que representa explícitamente el proceso de inversión al nivel operativo. El modelo distingue entre demoras percibidas y retrasos de material, captura los flujos de órdenes, adquisiciones y descarte de construcciones [8]. El retraso en la adquisición varía con la capacidad de utilización del capital por parte de los gobiernos de turno. El subsistema desagrega las etapas de inversión órdenes y el proceso de construcción, dejando a un lado la planeación.

La intención es entonces establecer políticas de órdenes asociadas al proceso de construcción mediante la representación en el espacio de estados que deriven en un sistema de gestión de inventarios estable, abriendo la posibilidad de estudios futuros con sistemas de inventarios multivariantes y no lineales [1].

El documento se organiza como sigue: Una primera sección donde se describe el modelo de gestión de inventarios a los ojos de la Cadena de Abastecimiento que servirá de punto de partida para el estudio que se realiza [9], la segunda sección explica las modificaciones de las políticas de Gestión involucradas en el modelo. La tercera sección exhibe los resultados obtenidos de las simulaciones correspondientes para finalmente compararlos y analizarlos en términos de su convergencia a los valores deseados y su estabilidad.

2. HEURÍSTICAS DE ANCLAJE Y AJUSTE

Estrategia en la cual una cantidad desconocida es estimada recurriendo a un punto de referencia conocido (el ancla) y luego ajustando por el efecto de otros factores menos conocidos o cuyos efectos son menos claros, requiriendo que el decisor estime sus efectos mediante el uso de una simulación mental. Estas Heurísticas se convierten en una serie de reglas de decisión que utilizan la información local (subjetiva) disponible y que no asumen conocimiento de la estructura global del sistema por parte del que toma decisiones [10].

2.1 El Modelo de Gestión de Inventario de Construcciones

El modelo de gestión de inventarios comprende el inventario y una línea de suministro que provee a este inventario. En la figura 1 se muestra la estructura de flujos y niveles del inventario:

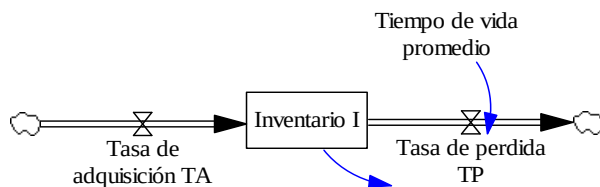


Figura 1. Estructura de flujos y niveles del inventario.

El inventario de construcciones es alimentado por una tasa de adquisición TA sin retraso alguno en la adquisición de unidades, y su salida depende de la tasa de pérdida TP , la cual incorpora un retraso que a su vez depende del tiempo de vida promedio tvp . Ahora bien, asumir una TA sin retraso en la adquisición es una asunción poco realista así que además de tener en cuenta los componentes anteriores se involucra una línea de suministro que provee al inventario, como en la figura 2:

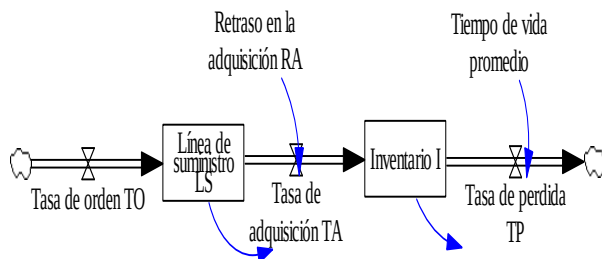


Figura 2. Inventario y línea de suministro.

Donde el retraso en la adquisición RA es el tiempo que demora una orden en ser ejecutada (note que RA es un retraso de material).

Esta variante del modelo de la figura 1, al involucrar un retraso en la adquisición, en su estructura de flujos y niveles, ahora incluye la línea de suministro de órdenes no cubiertas (aquellas ordenes que han sido colocadas pero aún no recibidas).

Las ecuaciones que gobiernan este modelo son las siguientes:

$$\frac{dI}{dt} = TA - TP$$

$$TP = \frac{I}{tvp}$$

$$TA = \frac{LS}{RA}$$

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{I}{tvp} + \frac{LS}{RA}$$

$$\frac{dLS}{dt} = TO - TA$$

2.2 Políticas de Gestión Gobernando los Flujos

Se asume que la tasa de adquisición es no negativa (no hay devoluciones, ni descuentos).

Toda política de gestión involucra tanto flujos de materiales como flujos de información [11]. La implementación de la política de Gestión que gobierna los flujos consiste aquí de un par de ajustes para las variables de estado, Inventario y Línea de Suministro teniendo en cuenta la diferencia entre el estado deseado y el estado actual en tiempos determinados y denominados tiempo de ajuste del inventario TAI y Tiempo de ajuste para la línea de Suministro $TALS$. Enseguida se reemplazan las cantidades de inventario de construcciones que han salido de circulación (en la tasa de pérdida).

Cuando el Inventario difiere del Inventario deseado aún en el punto de equilibrio, puede presentarse el error de estado estable. Para solucionar esta situación se involucra la tasa esperada de pérdida TEP y se procede a identificarla con la Tasa de órdenes promedio TOP .

En adelante se asume que la tasa de pérdida es un proceso de primer orden con tiempo de vida promedio TVP y que los retrasos en reportar descartes de equipos averiados u obsoletos son cortos relativamente a las dinámicas de interés de tal forma que la $TEP = TP$.

La tasa de adquisición deseada TAD captura el proceso de toma de decisiones del gerente y se expresa como la suma de lo que sale de circulación (TEP) y el ajuste para el inventario AI . De igual forma, la línea de suministro deseada LSD se expresa como la TAD multiplicada por el retraso en la adquisición RA . Al final, las órdenes indicadas OI son la tasa de adquisición deseada TAD más el ajuste de la línea de suministro ALS .

$$OI = TEP + AI + ALS$$

El ajuste de la línea de suministro es el siguiente:

$$AI = \frac{ID - I}{TAI}$$

La TAD depende de la tasa esperada de pérdida TEP y no de la tasa de pérdida TP, dado que no se pueden medir tasas de cambio instantáneas sino que deben acumularse sobre un intervalo y calcularse una tasa promedio. No importa cuán preciso sea el instrumento que el gerente tenga a mano, no podrá medir tasas de cambio instantáneas. Note la relevancia de asumir TEP= TP.

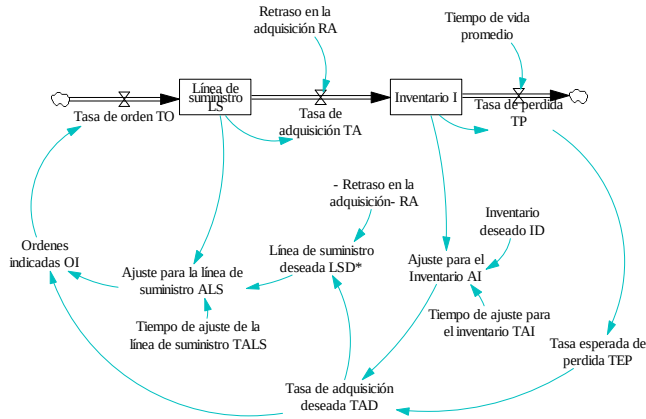


Figura 3. Modelo de Sterman.

Dado que la única forma en que el inventario crezca es que $TA > TP$ es inevitable el sobretiro (overshoot).

Este modelo propuesto por Sterman tiene tres asunciones fuertes:

- El retraso en observar y reaccionar a descartes de construcciones averiadas u obsoletas es corto relativamente a las demás constantes de tiempo.
- $TPE = TP$.
- El retraso en la Adquisición RA puede percibirse inmediatamente.

3 DESCRIPCIÓN DE MODIFICACIONES A LAS POLÍTICAS DE GESTIÓN

3.1 Primera Modificación de la Política: Modelo I+LS

Este modelo se construye a partir de políticas independientes para el inventario y para la línea de suministro. El modelo asociado al inventario es el siguiente:

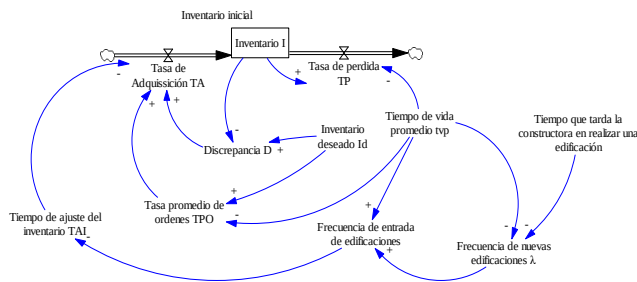


Figura 4. Modelo Inventario I.

En este modelo además de adoptar políticas para realizar las órdenes, se tiene en cuenta que el tiempo de ajuste del inventario depende de la capacidad, que en este caso es el tiempo que tarda la constructora en realizar una edificación y las edificaciones que salen de circulación. Las órdenes se realizan de la siguiente manera:

$$TA = TPO + \frac{D}{TAI}$$

$$TA = \frac{ID}{tvp} + \frac{ID - I}{TAI}$$

$$P = \frac{ID}{tvp} + \frac{ID - I}{TAI}$$

Donde puede verse que se realizan órdenes promedio y un ajuste del inventario deseado. Las órdenes promedio son iguales al inventario deseado ID sobre el tiempo de vida promedio tvp.

El diagrama asociado a la línea de suministro es el siguiente:

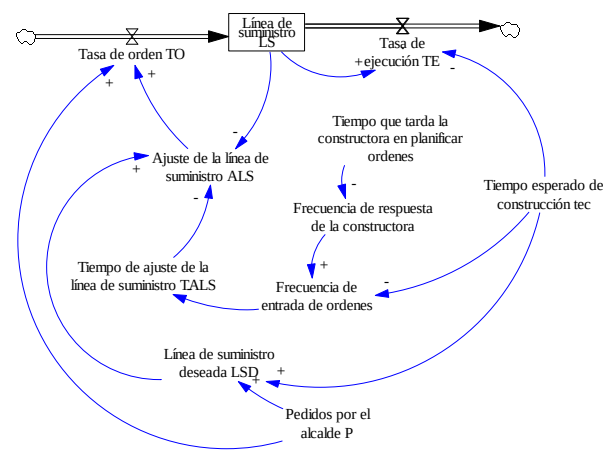


Figura 5. Modelo línea de suministro LS.

Donde la línea de suministro deseada es igual a las órdenes (pedidos por el gobernador) multiplicada por el retraso, que en este caso es el tiempo esperado de construcción. El ajuste de la línea de suministro es similar al realizado para el inventario.

Luego de establecer las políticas para cada uno de los modelos, se reunirán mediante los pedidos del gobierno, que serán iguales a lo ordenado en el modelo del inventario. De esta manera:

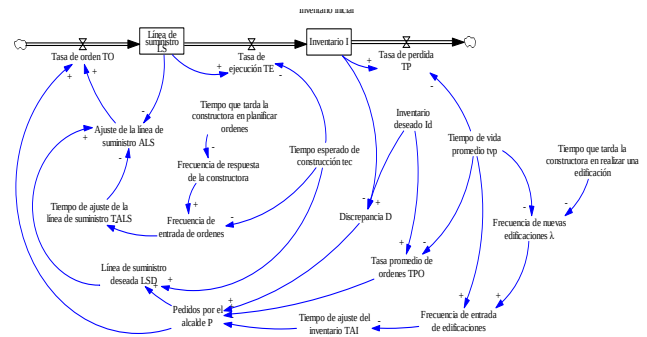


Figura 6. Modelo Inventario- línea de suministro I-LS.

Como puede verse en el modelo el valor P es similar al TAD de Sterman. Que en este modelo es igual a TA en el primer modelo. La tasa de orden TO:

$$TO = P + ALS$$

$$TO = \frac{ID}{tvp} + \frac{ID - I}{TAI} + \frac{LSD - LS}{TALS}$$

3.2 Modificación de la Política para el Modelo Conjunto

El inventario y la línea de suministro se pueden gestionar como un solo sistema, teniendo en cuenta los parámetros del mismo. En este modelo, los retrasos son tvp y tec, y determinan la duración total del proyecto. La suma de estos dos será el ciclo de vida CV. El valor deseado no será solamente el inventario deseado ID y la línea de suministro deseada LSD sino que será un deseado total, que es la suma de estos dos. De esta manera se realizarán las órdenes:

$$TO = ALS + OP + AI$$

$$TO = \frac{ID + LSD}{tvp + tec} + \frac{\left(\frac{tvp}{tvp + tec}(ID + LSD)\right) - I}{TAI} + \frac{\left(\frac{tec}{tvp + tec}(ID + LSD)\right) - LS}{TALS}$$

El primer término representa las órdenes promedio que son los deseados totales sobre el ciclo de vida. El segundo y tercer término representan ajustes que dependen de una discrepancia entre una fracción del deseado y el estado actual. Esta fracción del deseado se mide teniendo en cuenta la cantidad de tiempo que permanece retrasado sobre el ciclo de vida promedio.

El diagrama de Forrester asociado es el siguiente:

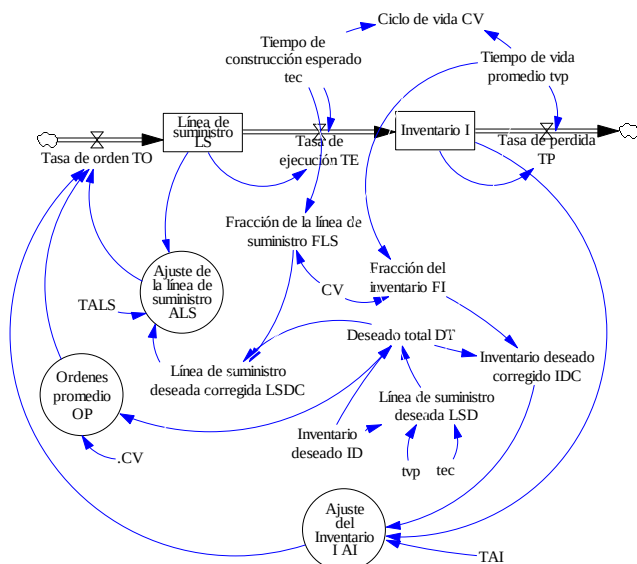


Figura 5. Modelo conjunto.

Note que en este modelo la Línea de Suministro deseada LSD se puede calcular también utilizando equivalencias. Si ID equivale a

la Fracción del Inventario $tvp/(tec+tvp)$, y LSD equivale a la Fracción de la Línea de Suministro $tec/(tec+tvp)$ entonces:

$$LSD = \frac{\left(\frac{tec}{tvp + tec}\right)(ID)}{\frac{tvp}{tvp + tec}}$$

$$LSD = \frac{(ID)}{(tvp)}(tec)$$

4 MODELO DE LA LÍNEA DE SUMINISTRO Y DEL INVENTARIO CON ÓRDENES PROMEDIO CALCULADAS TENIENDO EN CUENTA LOS AJUSTES (I-LS-OPTCA)

En el modelo de inventario se asume una orden promedio como el inventario deseado ID dividido en el tiempo de vida promedio tvp y de esta manera la tasa de adquisición es:

$$TA = \frac{ID}{tvp} + \frac{ID - I}{TAI}$$

$$TA = \frac{ID}{tvp} + AI$$

donde la tasa de adquisición TA es una orden promedio que depende del inventario deseado y un ajuste del inventario AI. Ahora, esta orden promedio será calculada dependiendo de los ajustes del inventario AI. Para determinar las órdenes promedio se toman los ajustes del inventario AI y se evalúan en el horizonte de tiempo:

$$\text{Calculador de ordenes CO} = \frac{AI}{ht}$$

ht = horizonte de tiempo.

Las órdenes promedio son una memoria de lo realizado en los ajustes del inventario AI en un horizonte de tiempo dado. Ya que son una memoria, deben acumularse los resultados obtenidos en el calculador de órdenes CO, de esta manera:

$$\text{órdenes promedio. OP} = \int CO dt$$

$$OP = \int \left(\frac{AI}{ht}\right) dt$$

$$OP = \int \left(\frac{\left(\frac{ID - I}{tvp}\right)}{ht}\right) dt$$

Así la tasa de adquisición TA es:

$$TA = \int \left(\frac{\left(\frac{(ID - I)}{TAI}\right)}{(ht)}\right) dt + \frac{(ID - I)}{(TAI)}$$

Las órdenes promedio se ajustan a la necesidad de órdenes en el momento, proporcionando una ventaja sobre el primer modelo ya que este realizaba las órdenes promedio teniendo en cuenta un

valor en equilibrio (que es cuando ya se tiene el número de edificaciones deseadas en el inventario $((ID)/(tvp)))$ [6]. El diagrama de Forrester asociado es similar al primer modelo de inventario y difiere únicamente en el cálculo de las órdenes promedio:

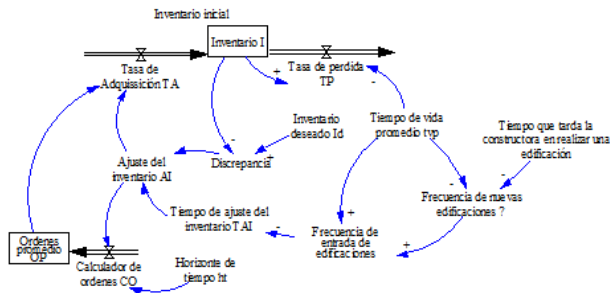


Figura 6. Modelo Inventario con órdenes promedio teniendo en cuenta los ajustes.

Teniendo en cuenta la elaboración del modelo de la Línea de Suministro LS a continuación se unen los dos subsistemas por medio de la variable "Pedidos por el gobernante P":

$$P = OP + AI$$

De esta manera la tasa de orden TO es:

$$TO = \{OP + AI\} + ALS$$

$$TO = (OP + A) + \frac{(LSD - LS)}{TALS}$$

El diagrama de Forrester asociado que incluye la línea de suministro:

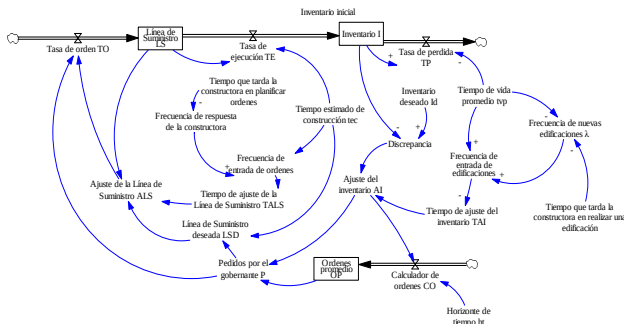


Figura 7. Modelo Inventario- Línea de suministro con órdenes promedio teniendo en cuenta los ajustes.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Comparación de modelos I-LS, Conjunto y Sterman

Los modelos se comparan bajo las condiciones indicadas en las tablas 1, 2 y 3 con tres escenarios:

- Inventario deseado constante
- Inventario deseado con crecimiento lineal

- Inventario deseado Oscilante

Tabla 3. Condiciones del modelo de Sterman

Parámetro	Observaciones
Tiempo de vida promedio tvp	8 años
Retraso de adquisición RA	1.5 años
Tiempo de ajuste del stock TAS	3 años
Tiempo de ajuste de la línea de suministro $TALS$	0.75 años

Tabla 2. Condiciones del modelo de I-LS

Parámetro	Observaciones
Tiempo de vida promedio tvp	8 años
Tiempo esperado de construcción	1.5 años
Tiempo que tarda la constructora en realizar la edificación	3 años
Tiempo que tarda la constructora en planificar órdenes	0.5 años

Tabla 3. Condiciones del modelo conjunto

Parámetro	Observaciones
Tiempo de vida promedio tvp	8 años
Tiempo esperado de construcción	1.5 años
Tiempo de ajuste del inventario TAI	3 años
Tiempo de ajuste de la línea de suministro $TALS$	0.75 años

Para el primer escenario, se decide incrementar el inventario de 0 a 100 unidades. La respuesta del mismo en los tres modelos (excepto inventario línea de suministro con órdenes calculadas teniendo en cuenta los ajustes) es como sigue:

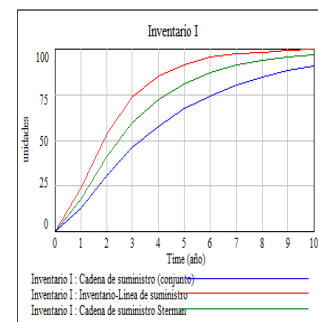


Figura 8. Inventario deseado constante.

Como puede apreciarse en la figura 8 el modelo I-LS se ajusta más rápido al valor deseado de 100 unidades.

Para el siguiente escenario se decide aumentar anualmente diez unidades en el inventario deseado. Este escenario se denomina aquí "Inventario deseado con crecimiento lineal".

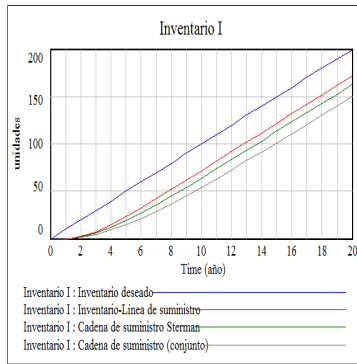


Figura 9. Crecimiento lineal del inventario deseado

Para tal caso, la diferencia con el mejor modelo (I-LS) es de 29 unidades en el año 20. Es decir; en el año 20 la brecha entre el nivel de inventario y el inventario deseado es cercana al 15% del total de unidades.

Para obtener una convergencia al inventario deseado en menor tiempo, se sugiere disminuir los tiempos de ajuste.

Finalmente, en el escenario de inventario deseado oscilante (entre 150 y 250 unidades con un periodo de 10 años), no se da un ajuste. Al final del horizonte temporal la brecha se sostiene (ver figura 10). En este escenario no son recomendables las políticas implementadas.

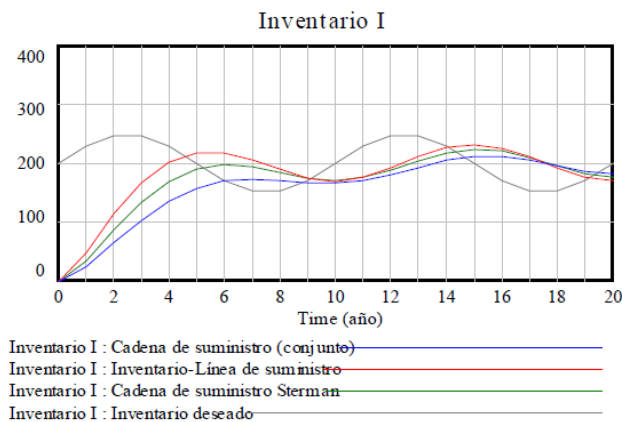


Figura 10. Inventario deseado oscilante.

5.2 Comparación de Modelos I-LS y I-LS con Órdenes Promedio Teniendo en Cuenta los Ajustes.

Como se determinó anteriormente, el modelo I-LS fue superior en cada uno de los escenarios estudiados. Ahora se compara bajo los mismos escenarios con el modelo I-LS con órdenes calculadas teniendo en cuenta los ajustes.

Como se puede ver en la tabla 4 los valores de las constantes son similares al modelo I-LS, solamente se adiciona el valor del horizonte de tiempo ht que en este caso será igual al tiempo de ajuste del inventario TAI:

Tabla 4. Condiciones del modelo I-LS OPTCA.

Tiempo de vida promedio tvp	8 años
Tiempo esperado de construcción tec	1.5 años
Tiempo que tarda la constructora en realizar la edificación	3 años
Tiempo que tarda la constructora en planificar ordenes	0.5 años
Horizonte de tiempo ht	0.5 años

Se utilizan las mismas condiciones para cada uno de los escenarios del numeral 5.1.

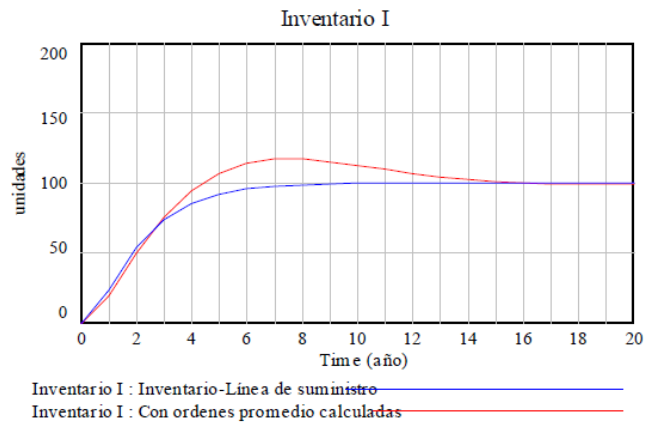


Figura 11. Inventario deseado constante.

Como se aprecia en la figura 11, el modelo con órdenes promedio calculadas (OPTCA) pasa por el deseado entre los años cuatro y cinco, mientras el modelo I-LS alcanza este valor cuatro años después. Hay que tener en cuenta que el modelo I-LS OPTCA tiene un exceso de inventario entre los años cuatro y dieciséis y el nivel de inventario máximo obtenido es de 117 unidades.

Si se pretende que el inventario deseado converja más rápido se elegiría el modelo I-LS OPTCA, teniendo en cuenta que se incurrirá en costos por exceso de inventario.

Para el escenario de crecimiento lineal del inventario deseado se aprecia en la figura 12 que el modelo I-LS OPTCA es superior al modelo I-LS, aunque exista una brecha con el inventario deseado del 8% de total de las unidades del deseado.

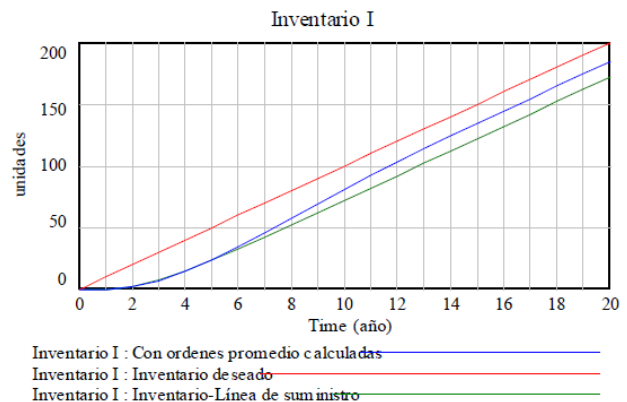


Figura 12. Crecimiento lineal del inventario deseado.

Finalmente para el escenario con inventario oscilante se ve en la figura 13 que los dos modelos están lejos del inventario deseado. En este caso no son recomendables las políticas implementadas.

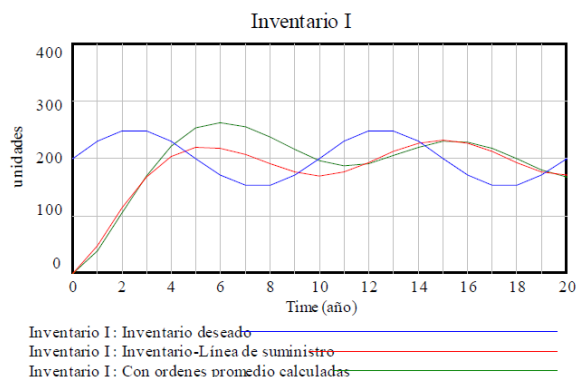


Figura 13. Inventario oscilante.

6 REFERENCIAS

- [1] Chandra S. Lalwani, Stephen M. Disney, Denis R. Towill, Controllable, observable and stable state space representations of a generalized order-up-to policy, *Int. J. Production Economics* 101 (2006) pàg 172–184.
- [2] FORRESTER, Jay, *Urban Dynamics*. Pegasus communications, 1999, capítulos 1 y 2.
- [3] Hwarng, H. Brian, Na Xie, Understanding supply chain dynamics: A chaos perspective, *European Journal of Operational Research* 184 (2008) 1163–1178.
- [4] Larsen, Erik R., Morecroft, John D.W., Thomsen Jesper S, Complex behaviour in a production distribution model, *European Journal of Operational Research* 119 (1999) 61–74.
- [5] Montgomery, M. (1995) “Time to Build” completion patterns for nonresidential structures, 1961–1991, *Economics Letters* 48, 155–163.
- [6] RICHARDSON G, *Feedback Thought in Social Science and System Theory*, Pegasus, USA, First Edition, 1999.
- [7] Rydzak F, Sawicka A, Experimental Exploration of Decision Making in Production-inventory System, *Advances In Information and Communication Technology*, vol 257, 2008.
- [8] SENGE peter, *La Quinta Disciplina En La Práctica Como Construir Una Organización Inteligente*, Editorial Granica, 1999.
- [9] STERMAN, John. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Mc Graw Hill, 2000.
- [10] STERMAN John, Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment, *Management Science*, vol 35, #3 marzo 1989 pag 321–339.
- [11] Venkateswaran, Jayendran & Son, Young-Jun, Effect of information update frequency on the stability of production-inventory control systems, *International Journal of Production Economics*, Elsevier, vol. 106(1), pags 171–190, Marzo 2007.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelo de la seguridad alimentaria en la ciudad de Medellín: un enfoque sistémico desde la accesibilidad económica

Juan Pablo Posada C., Ms(c)

Alcaldía de Medellín

Calle 44 N 52 – 165 – Of. 416

Centro Administrativo la Alpujarra

(574) 4255353

jpposadac@unal.edu.co

Carlos Jaime Franco C. Ph.D.

Universidad Nacional de Colombia

Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8

(574) 4255353

cjfranco@unal.edu.co

RESUMEN

El problema de la Inseguridad Alimentaria en las grandes concentraciones urbanas es una situación de alta complejidad y de fuertes dinámicas, debido a la presencia de realimentaciones, retardos y resistencias ante la implementación de políticas. En este artículo se aborda el caso específico de Medellín, Colombia, una ciudad con el 58,6% de su población en Inseguridad Alimentaria.

El problema es tratado a partir del enfoque sistémico del acceso económico a los alimentos y para ello se realiza un análisis sistémico y de complejidad y se construye un modelo de dinámica de sistemas con un horizonte de simulación de 40 años, con el cual se analizan tres políticas diferentes, dos de ellas de orden económico (El incremento de los índices de empleo y la reducción del costo de los alimentos) y una de corte social (la disminución del desplazamiento forzado hacia Medellín).

Palabras Claves

Dinámica de Sistemas, Modelamiento, Simulación, Políticas Públicas, Seguridad Alimentaria.

ABSTRACT

The food insecurity problem in the large urban centers is a highly complex situation with a strong dynamic due the feedbacks, delays and policy implementation resistance presence. This article approaches the specific case of Medellín, Colombia, city with 58.6% food insecure population.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

The problem is treated from a systemic approach of the economic food access. therefore performed a systematic analysis and complexity and it's build a system dynamics model with a horizon simulation of 40 years. thus be analyzed three different policies, two of them are economic (to increase employment rates and to reduce the food cost) and a social category (displacement decrease to Medellín)

Keywords

Food Security, Simulation, Modeling, System Dynamics, Public Policy.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2004 fue ordenada por primera vez la medición del nivel de seguridad alimentaria en el Departamento de Antioquia y la ciudad de Medellín – Colombia –, los resultados arrojados por el estudio indicaban que en Medellín el 62% de las personas se encontraban en Inseguridad Alimentaria (Gobernación de Antioquia, 2004).

En el año 2010 fueron actualizados dichos indicadores en la ciudad a través de la construcción del Perfil Alimentario y Nutricional, por parte de la Alcaldía de Medellín (2010), en esta ocasión la investigación arroja que el 58,6 % de sus habitantes se encontraban en situación de inseguridad alimentaria, lo cual significa que hubo una reducción de 3,4 puntos porcentuales.

Por lo anterior, se hace necesaria la construcción de una herramienta que permita la evaluación de políticas públicas que conduzcan a la eficiente reducción de la inseguridad alimentaria en la ciudad de Medellín, ya que las inversiones realizadas sobre el sistema son cuantiosas y los resultados no reflejan un alto impacto.

En este trabajo se busca dar respuesta a la problemática de la evaluación de políticas públicas a implementarse en el sistema de seguridad alimentaria, desde lo que corresponde al acceso económico a los alimentos, por medio de la construcción de un modelo de Dinámica de Sistemas que permite explorar el impacto

de las políticas públicas implementadas. La estructura del artículo es la siguiente: en primer momento se presenta, a partir de la hipótesis dinámica, el modelo construido para la evaluación de políticas públicas tendientes a la superación de la Inseguridad Alimentaria, realizando énfasis sobre las fuerzas o ciclos de realimentación que provocan la dinámica del sistema, para después pasar a evaluar, sobre el modelo y por medio de simulación, tres políticas públicas de carácter social y económico que impactan positivamente la problemática, por último se presentan las conclusiones derivadas de la evaluación de políticas realizadas sobre el modelo.

2. EL MODELO Y SUS FUNDAMENTOS

2.1 La Seguridad Alimentaria desde la Dinámica de Sistemas

La Seguridad Alimentaria ha sido abordada desde diferentes enfoques; los estudios se han concentrado en desarrollar cada uno de los aspectos de la definición adoptada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO por sus siglas en inglés -, abordando aspectos orientados a investigar problemáticas relacionadas con la disponibilidad de alimentos, acceso económico que se tiene a estos y la forma como son aprovechados biológicamente (FAO, 2011). Los estudios en estas problemáticas específicas se han concentrado la búsqueda de alternativas o políticas públicas que lideren las naciones y por medio de las cuales se logre una disminución de la población que padece hambre en el mundo. En Tabla 1 se presenta la matriz que contiene las aristas desde las cuales se ha dado el abordaje de la Seguridad Alimentaria desde la Dinámica de Sistemas.

2.2 El Modelo de Seguridad Alimentaria en Medellín.

La dinámica que genera el sistema de seguridad alimentaria en la ciudad de Medellín ocasiona que, a causa de la accesibilidad económica a los alimentos, el 58,6% de sus habitantes no alcancen un consumo calórico mínimo diario, lo cual los ubica en estado de Inseguridad Alimentaria (Alcaldía de Medellín, 2010).

Esta estimación se realizó de acuerdo al Índice del Hambre desarrollado por Wheler (1992) y validado por Lorenzana y Sanjur (2000) para la ciudad de Caracas, Venezuela y que fue adaptada para Colombia por Álvarez y sus colaboradores (2006) en su investigación realizada en el departamento de Antioquia, Colombia; actualmente esta escala es el instrumento a través del cual el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar – ICBF - estima el estado de la seguridad alimentaria en el país por medio de su encuesta ENSIN (ICBF, 2011).

Esta situación de inseguridad alimentaria, es ocasionada por ciclos de realimentación que refuerzan la situación de Inseguridad Alimentaria y pobreza, dado que la baja ingesta calórica produce en los niños un bajo desarrollo cerebral y por ende un bajo coeficiente intelectual, lo cual conduce a que los ingresos a los cuales puede tener acceso la población en esta condición sean bajos, disminuyendo así el ingreso de los hogares y por ende el gasto realizado en alimentos (Villegas et al, 2009; Aromolaran, 2004).; perpetuando de esta manera los círculos de pobreza.

Adicionalmente, el impacto que ocasiona la población en situación de desnutrición sobre la economía de la ciudad, y sobre su propia situación, solo se percibe una vez la persona llega a su adultez (Villegas et al, 2009; Garibay et al, 2008), conllevando esto a que las políticas que son implementadas en el sistema solo entreguen resultados apreciables mucho tiempo después de ser aplicadas; este retardo se constituye en una de las fuentes de la dinámica del sistema (Stermán, 2000). Esta situación se expresa en la hipótesis dinámica presentada en la Figura 1.

Tabla 1. Abordaje de la Seguridad Alimentaria desde la Dinámica de Sistemas

MODELOS	DISPONIBILIDAD	ACCESIBILIDAD	APROV. BIOLÓGICO	ENFOQUE CIUDAD	EVAL. DE POLÍTICAS
(Posada y Franco, 2010)		X		X	X
Giraldo et al. (2010)	X	X			X
Giraldo et al. (2008)	X	X			X
Serrano y Sotaquirá (2005)	X	X			X
Georgiadis et al. (2004).	X				
Quinn (2002).	X	X			X
Gohara (2001).	X				
Saeed (2000).		X			X
Mineguishi y Thiel (2000)	X				
Futami y Kashiwazaki (2000)			X		
Bach et al. (1992).	X				
Saeed, et al. (1983).		X			X

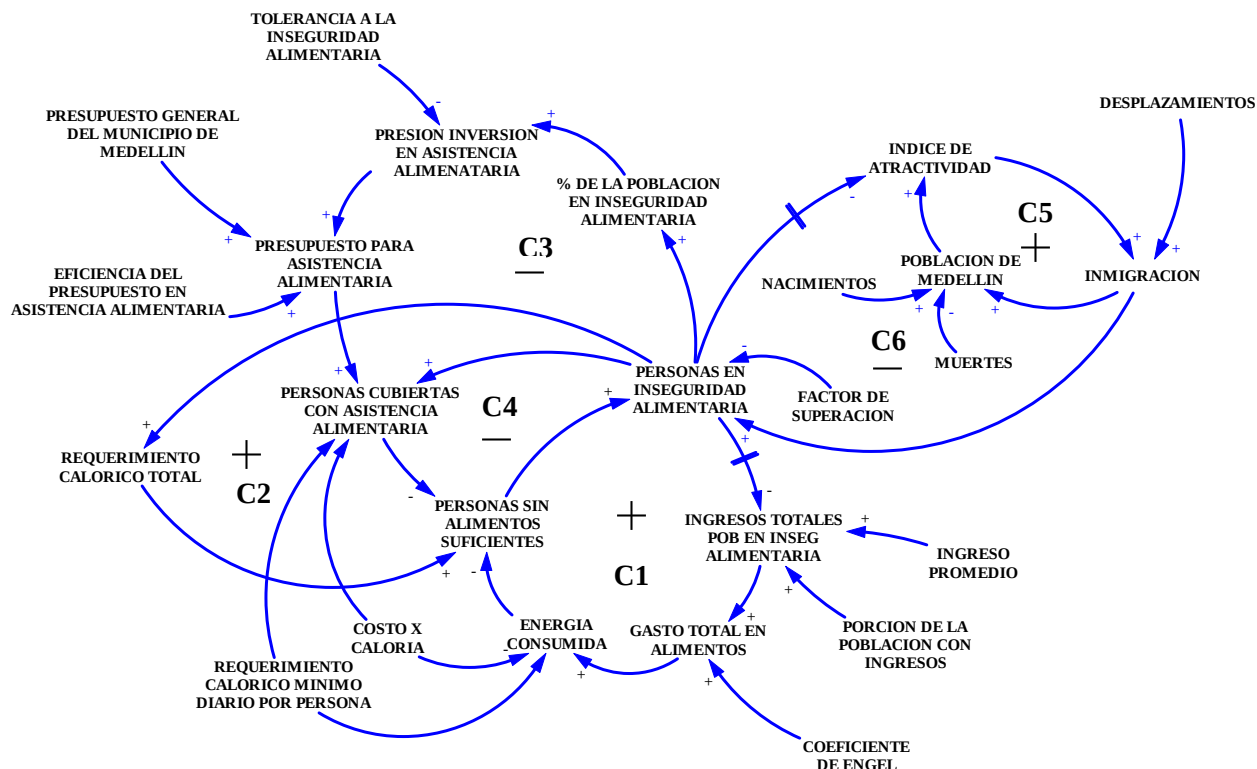


Figura 1. Diagrama Causal del modelo de la problemática de Inseguridad Alimentaria

El retardo presente en algunas relaciones del sistema ocasiona que las decisiones que se toman sobre este no puedan ser verificadas de inmediato y por ende no es posible medir el impacto que se tiene sobre la problemática, además el sistema presenta una resistencia al cambio ante las políticas o decisiones que se toman sobre el mismo (Stermán, 2000; Forrester, 1994), lo cual es posible verificar a través de la declaración de los Objetivos de Milenio propuestos por la asamblea de ONU (2000), dado que una de las metas consideraba la reducción del hambre y la pobreza en un 50% para el año 2015; lo cual pese a las acciones emprendidas en Colombia, y en particular en Medellín, no ha sido conseguido, continuando con alrededor del 50% de la población en condición de pobreza (Castaño y Núñez, 2007).

Por el carácter complejo y dinámico del sistema, la modelación y la simulación del problema y sus variables es una alternativa para evaluación de políticas de manera previa, antes de experimentar sobre el sistema real (Pidd, 1999); generando así beneficios en cuanto a los costos de la implementación en entornos reales y permitiendo realizar abstracciones para el aprendizaje en situaciones particulares en fracciones de tiempo menores a las que conlleva experimentar en el sistema real (Schaffernicht, 2006) como para este caso constituye la accesibilidad económica en el sistema de seguridad alimentaria.

Con los fundamentos presentados y por medio de los cuales se construyó el modelo; a continuación se detallan los ciclos de realimentación que se consideran como responsables de las dinámicas del sistema modelado en la Figura 1, este modelo contiene las principales estructuras genéricas que son responsables del comportamiento del sistema (Aracil, 1995).

2.2.1 Ciclo de Pobreza – C1

El problema de la Inseguridad Alimentaria tiene origen en el acceso económico a que tienen o no los ciudadanos a los alimentos, en la ciudad de Medellín las fuertes desigualdades sociales han ocasionado que el 58,6% de la población se encuentre en situación de Inseguridad Alimentaria (Alcaldía de Medellín, 2010) constituyéndose esto en el motor de la pobreza, ya que el ciclo que se presenta en la Figura 2 es la estructura que refuerza y perpetúa esta situación en el tiempo.

El ciclo de la Figura 2 ejerce presión sobre el sistema así: Las personas que no alcanzan a consumir el requerimiento calórico mínimo diario incrementa la población en inseguridad alimentaria, esta población con el tiempo ve deteriorada su nivel de ingresos debido a que por falta de nutrición su circunferencia craneana no alcanza los niveles normales y por ende no es posible que accedan a educación superior que les permita obtener ingresos con los cuales puedan alcanzar los requerimientos calóricos mínimos diarios y por ende superar la condición de hambre e inseguridad alimentaria (Myers, 2006; Balk et al, 2005; Morris, 2001).

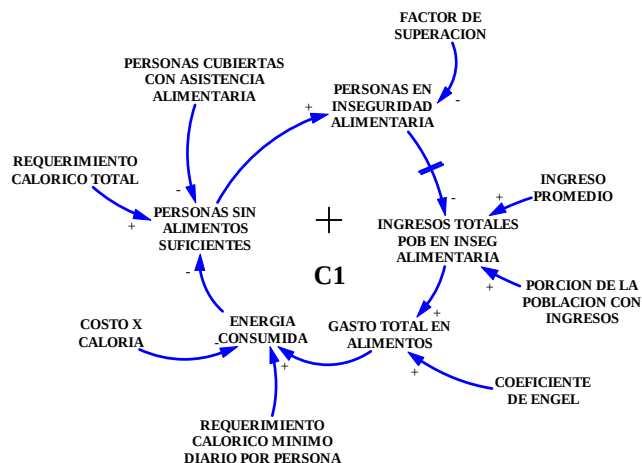


Figura 2. Ciclo de Pobreza – C 1–

2.2.2 Ciclo de Intervención Estatal – C3

La intervención estatal ocurre a partir de los diagnósticos realizados acerca de la situación de Hambre e Inseguridad alimentaria de la ciudad, este proceso ocurre durante la formulación de los planes de desarrollo y de la presión que exista en la ciudad por disminuir los niveles de riesgo social que perciban sus ciudadanos. Para el caso de Colombia los planes de desarrollo tienen un alcance de 4 años.

De acuerdo a la Figura 3, el presupuesto que la ciudad destina para la seguridad alimentaria disminuye la cantidad de personas que se encuentran padeciendo de hambre, ya que a través de este se complementa la carga calórica diaria de los hogares y las personas; de acuerdo a la acumulación de población en inseguridad alimentaria y la presión que ejerza la ciudadanía sobre la administración pública, el ente central diseña sus políticas para destinar nuevamente presupuesto para asistencia. Para el año 2010 el presupuesto para seguridad alimentaria ascendió a USD 47 millones y equivale al 2,7% del presupuesto general de la municipalidad (Alcaldía de Medellín 2009a).

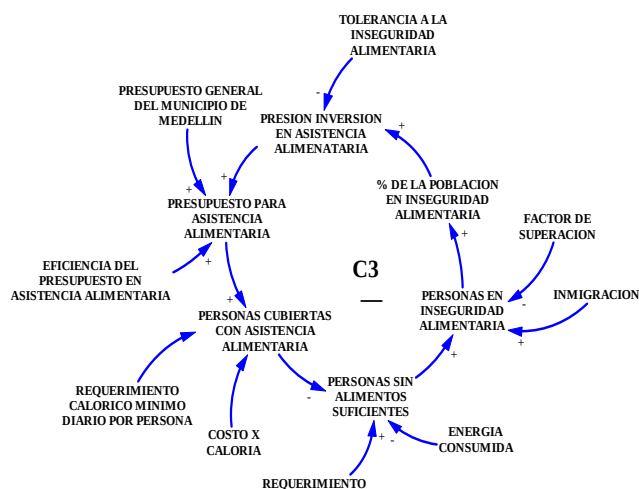


Figura 3. Ciclo de Intervención Estatal – C 3–

6.2.3 Ciclo de Atractividad de la ciudad – C5 y C6

De acuerdo a la inversión social que realice la municipalidad y al nivel de superación de la inseguridad alimentaria que presente, el índice de atractividad de la región aumenta o disminuye, es decir, si la ciudad presenta un desequilibrio frente a las otras regiones y comienza a presentar mejores indicadores de bienestar en sus ciudadanos, las personas de otras regiones tomarán la decisión de migrar hacia la que ofrece mejores condiciones (Forrester, 1969).

Adicionalmente, tal como se aprecia en la Figura 4 al modelar el desplazamiento, se tiene que Colombia afrontó una fuerte crisis de violencia en la década de los 90', con una especial repercusión sobre la población que habita las aéreas rurales obligándola a desplazarse hacia centros urbanos en donde les brindaran mejores condiciones de seguridad. Medellín se constituyó en el segundo centro nacional de recepción de desplazados (Alcaldía de Medellín, 2008), recibiendo 202.192 personas con esta condición desde el año 2008 (Acción Social, 2011), esto se dio a causa de las favorables condiciones de asistencia humanitaria que brindaba la ciudad.

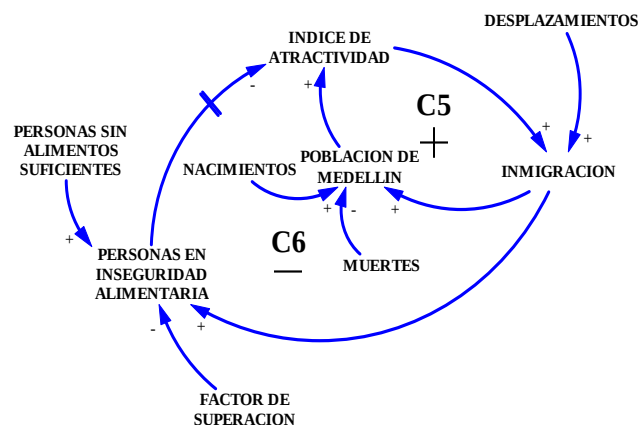


Figura 4. Ciclo de Migraciones – C5 y C6–

3 EVALUACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS

A continuación se presenta la evaluación de tres políticas a implementarse sobre el sistema, orientadas a la superación de la situación de Inseguridad Alimentaria en Medellín, las políticas evaluadas son: La contención y el retorno de los desplazados, aumento de la eficiencia en la carga calórica de la canasta familiar y por último el incremento del empleo en la ciudad representado en las personas que aportan ingresos al hogar.

El horizonte de simulación fue de 40 años, simulando desde el año 2005 y hasta el año 2045; el comportamiento obtenido en el periodo comprendido entre el 2005 y el 2010 fue utilizado para la validación del modelo. El paso de simulación utilizado fue de 1 año.

Para facilitar la evaluación de las políticas se presenta en la Figura 5 el comportamiento de la población en inseguridad alimentaria arrojado por el modelo sin realizar ninguna perturbación sobre el mismo, a este se le denominará como gráfico base.

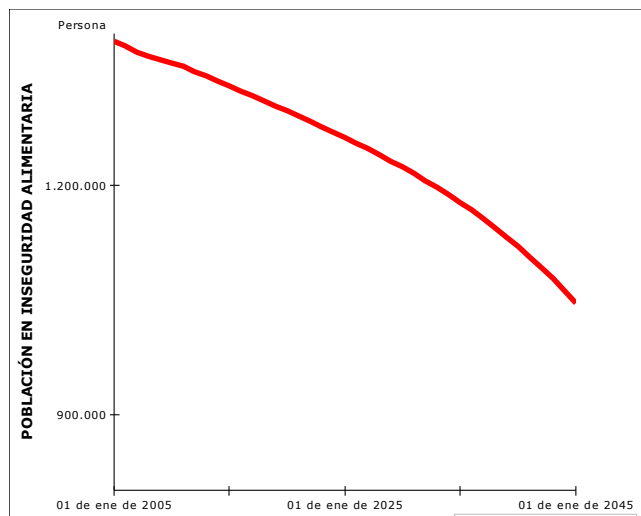


Figura 5. Comportamiento Base.

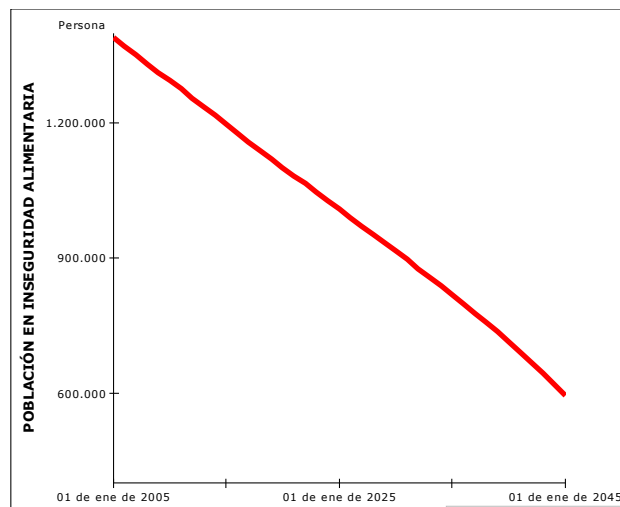


Figura 6. Comportamiento Política de contención del desplazamiento.

3.1. Evaluación de la Política de Contención y Retorno a los desplazados.

Actualmente la Alcaldía de Medellín logra identificar que el mayor municipio expulsor, con 22.765 de personas (Acción Social, 2011), a causa de la violencia es San Carlos, ubicado en el oriente del departamento de Antioquia, están personas han sido recibidas en gran parte por la ciudad de Medellín.

Por este hallazgo, la Alcaldía de Medellín a través de la Gerencia de Desplazados implementó un programa piloto de retorno y contención del desplazamiento en San Carlos, generando las condiciones en el municipio expulsor para que la población no continúe con la migración hacia los centros receptores.

Para la evaluación de la política se perturbó el modelo reduciendo a "0" la cantidad de personas que migran y que serán objeto de asistencia alimentaria en la ciudad de Medellín, el resultado obtenido se presenta en la Figura 6.

Al comparar el comportamiento obtenido con la Figura 5 se observó que la política de retorno y contención del desplazamiento hacia la ciudad de Medellín puede conllevar a una importante reducción de las personas en situación de Inseguridad Alimentaria, logrando pasar de 1.045.000 a 594.000 personas en el año 2045.

3.2. Evaluación de la Política Aumento de la Eficiencia de la Carga Calórica de la Canasta Familiar de Alimentos.

De acuerdo a los parámetros iniciales del modelo cada caloría tiene el valor de \$1,45 COP – equivalente a 0.008 centavos de dólar – (Gobernación de Antioquia, 2004) y cada persona debe consumir en promedio 2332 Kcal por día (ICBF, 1988), en este sentido la política a evaluar parte del supuesto de que el costo de cada caloría se reduzca a través de una mejor adquisición de alimentos, es decir, conformando la canasta básica de alimentos que posea una importante carga calórica y que sean de bajo costo. Es así como la política a evaluar supone que el costo de la caloría se reducirá a un 40% del costo actual. El comportamiento obtenido se presenta en la Figura 7.

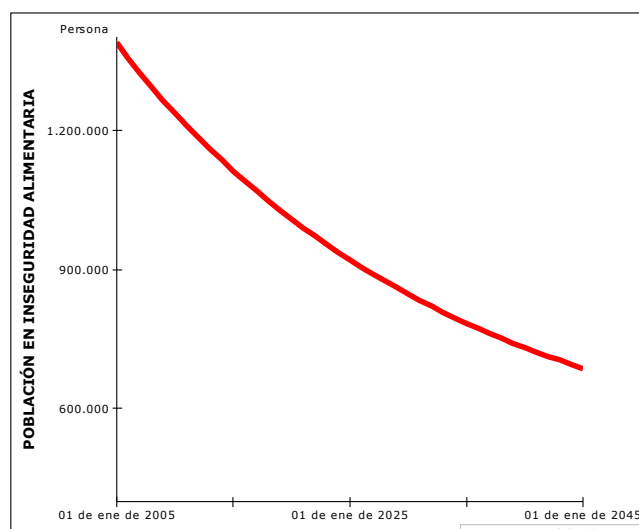


Figura 7. Comportamiento Política de Aumento eficiencia calórica.

A través de la implementación de la política de aumento de la eficiencia en la adquisición de la carga calórica se observan dos características relevantes en la Figura 7; la primera corresponde a un cambio de concavidad en la curva, lo cual sugiere que la meta de reducción de la Inseguridad Alimentaria comienza a superarse de manera acelerada con respecto a cómo se venía presentándose en el modelo sin perturbaciones y la segunda concierne a una disminución sustancial en la población, que al año 2045, se encontrará en situación de inseguridad alimentaria en la ciudad pasando de 1.045.000 personas en la grafica base a 687.000 personas.

3.3 Evaluación de la Política de Incremento en el nivel de empleo en la ciudad de Medellín.

De acuerdo a la Encuesta de Calidad de Vida de la Alcaldía de Medellín (2009b), en la ciudad de Medellín el 32,29% de la población percibe ingresos y utiliza el 33% de estos para la adquisición de alimentos, de esta manera la carga económica para garantizar el requerimiento calórico diario recae sobre esta porción de la población, es decir, que el 67% de la población se encuentra en dependencia económica.

Bajo la premisa anterior, la política que se evaluara esta en marcada en diversos programas de la Alcaldía de Medellín que van orientados a la generación de mayores niveles de ingreso y redistribución del mismo, como por ejemplo el programa Cultura E.

Para la evaluación de esta política se asumirá que la porción de población que percibe ingreso aumentara de 32,29% a 50%. El comportamiento obtenido se presenta en la Figura .

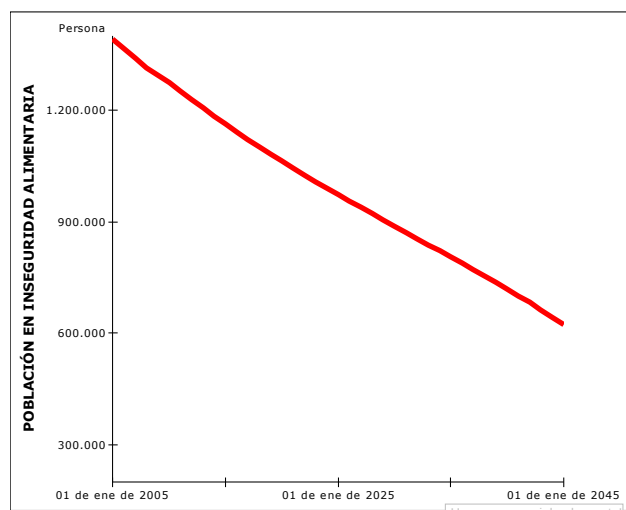


Figura 8. Comportamiento Política Incremento del Empleo

Comparando la Figura 8 con respecto a la grafica base, se observa que con la aplicación de la política de aumento de la cantidad de la población que percibe ingresos se obtiene una disminución significativa en la Inseguridad Alimentaria de la ciudad de Medellín, pasando de 1.045.000 a 624.000 personas.

4 CONCLUSIONES

De acuerdo a la simulación de las políticas sobre el modelo de seguridad alimentaria, se puede concluir que el sistema de asistencia alimentaria de la ciudad permite mitigar el hambre, pero está lejos de convertirse en la solución al problema, ya que ante el alivio de la carga de pobreza –Aumento del empleo y disminución del costo por caloría – realizado sobre el ciclo de balance de la intervención estatal, el sistema modelado no tuvo la capacidad de disminuir la población en esta situación de manera absoluto; sino que mantuvo alrededor de 750.000 personas en esa situación.

Por otro lado, en el modelo de simulación se pudo demostrar que la atraktividad y las migraciones sustentados en dos los ciclos de realimentación que se hacen explícitos a través de la cantidad de desplazados que a causa de la violencia ha recibido la ciudad, es una fuerte carga social para Medellín, ya que ante la simulación de las políticas, el comportamiento que se acercó en mayor medida a la meta de la erradicación de la inseguridad alimentaria – Alrededor de 600.000 personas –, fue presentada por la acción de emprendida de disminuir a cero el número de desplazados que ingresan a la ciudad.

5 REFERENCIAS

- [1] ACCIÓN SOCIAL. (2011). Estadística Población Desplazada Incluida en el RUPD. Disponible en: <http://www.accionsocial.gov.co/EstadisticasDesplazados/GeneralesPD.aspx?idRpt=2> [Citado 5 de junio de 2011].
- [2] ALCALDÍA DE MEDELLÍN (2009a). Gaceta Oficial N 3588: Presupuesto Oficial 2010 Municipio de Medellín
- [3] ALCALDÍA DE MEDELLÍN. (2009b). Encuesta de Calidad de Vida 2007. Departamento Municipal de Planeación.
- [4] ALCALDÍA DE MEDELLÍN. (2010). Caracterización de la Seguridad Alimentaria y Nutricional de los hogares del municipio de Medellín a través perfil alimentario y nutricional Medellín 2010.
- [5] ALVAREZ, M C., ESTRADA, A., CRISTINA, E. MELGAR, H (2006). Validación de la escala de seguridad alimentaria doméstica en Antioquia, Colombia. Salud Publica de México, 48(6), 474 – 481.
- [6] ARACIL, J. (1995). Dinámica de Sistemas. Isdefe, Madrid España
- [7] AROMOLARAN, A. B. (2004). Household income, womens income share and food calorie intake in South Western Nigeria. Food Policy, 29(27), 507-530.
- [8] BACH, N. L., & SAEED, K. (1992). Food self-sufficiency in Vietnam : a search for a viable solution. System, (2), 129-148.
- [9] BALK, D., STOREYGARD, A., LEVY, M., GASKELL, J., SHARMA, M., FLOR, R., ET AL. (2005). Child hunger in the developing world: An analysis of environmental and social correlates. Food Policy, 30, 584-611.

- [10] CASTAÑO, H. L., & NÚÑEZ, J. M. (2007). Pobreza y desigualdad en Colombia Diagnóstico y estrategias. Departamento Administrativo de Planeación.
- [11] FAO. (2011). Lo Qué Hace la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/kids/es/fao-do.html>. Consultado el 17 de mayo de 2011.
- [12] FORRESTER, J. W. (1969). Urban Dynamics. Productivity Press
- [13] FORRESTER, J. W. (1994). System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. System Dynamics Review, 10(2), 1-14.
- [14] FUTAMI J., KASHIWAZAKI H. (2002). Data Quality Control and Improvement of Indirect Human Calorimeter by System Dynamics Approach. Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society, Palermo, Italia.
- [15] GARIBAY, E. M., ÁNGEL, M., ORTEGA, O., VELARDE, E. R., & RODRÍGUEZ, F. N. (2008). Factores de riesgo de retraso en el crecimiento lineal en niños de 12 a 120 meses de edad en Arandas, Jalisco, México. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 58, 336-342.
- [16] GEORGIADIS, P., VLACHOS, D., & IAKOVOU, E. (2005). A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains. Journal of Food Engineering, 70, 351-364. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.06.030.
- [17] GIRALDO, D. P., BETANCUR, M. J., & ARANGO, S. (2008). Food Security in Development Countries : A systemic perspective. Technology, 1-15.
- [18] GIRALDO, P. D.; BETANCUR J. M. Y ARANGO, S. (2010), Análisis Metodológico para la Modelación de la Seguridad Alimentaria a Nivel Nacional. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol 8 # 1; 8 – 17.
- [19] GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. (2004). Perfil Nutricional Alimentario de Hogares Urbanos de la Ciudad de Medellín. Universidad de Antioquia.
- [20] GOHARA, R. (2001). A System Dynamics Model for Estimation of Future World Food Production Capacity. Unpublished Thesis (M.S.) University of New Hampshire.
- [21] ICBF. (1988). Recomendaciones de consumo diario de calorías y nutrientes para la población colombiana. Disponible en: <https://www.icbf.gov.co/icbf/directorio/portel/libreria/pdf/ta-bla-recomenda.pdf> [Citado 5 de junio de 2011].
- [22] ICBF. (2011). Encuesta Nacional de Situación Nutricional - ENSIN – 2011. Pendiente por publicación.
- [23] LORENZANA P, DANJUR D. (2000) La adaptación y validación de una escala de seguridad alimentaria en una comunidad de Caracas, Venezuela. Arch Latinoamer Nutr; 50(4):334-340.
- [24] MINEGISHI, S., & THIEL, D. (2000). System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. Simulation Practice and Theory, 8, 321-339.
- [25] MORRIS, S. S. (2001). Targeting urban malnutrition: a multi-city analysis of the spatial distribution of childhood nutritional status. Food Policy, 26, 49-64.
- [26] MYERS, R. J. (2006). On the costs of food price fluctuations in low-income countries. Food Policy, 31, 288-301.
- [27] ONU (2000), Nosotros los Pueblos la Función de las Naciones Unidas. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/milenio/sg/report/full.htm> [Citado el 7 de junio de 2011].
- [28] PIDD, M. (1999). Just Modeling Through: A Rough Guide to. Interfaces, 1999(April), 118-132.
- [29] POSADA, J. P y FRANCO, C. J. (2010) Acercamiento desde el enfoque sistémico a la problemática de seguridad alimentaria en la ciudad de Medellín: Políticas para la Superación. Avances en Sistemas e Informática, 2010 (Diciembre), 119 - 126
- [30] QUINN, P. M., (2002). Nation State Food Security: A Simulation of Food Production, Population Consumption, and Sustainable Development. Paper presented at the Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society, Palermo, Italy.
- [31] SAEED, K., SATTER, M. A., & SINGH, G. (1983). Rice Crop Production Policies and Food Supply in Bangladesh. Paper presented at the International System Dynamics Conference, Chestnut Hill, MA.
- [32] SAEED, K. (2000). Defining Developmental Problems for System Dynamics Modeling: An Experiential Learning Approach. Social Science and Policy Studies Department. Worcester Polytechnic Institute. USA.
- [33] SCHAFFERNICHT, M. (2006). Detecting and monitoring change in models. System Dynamics Review, 22(1), 73-88.
- [34] SERRANO, M, SOTAQUIRA R. (2005). Revelaing the Colombian Government's Coherence in the Design of Food Security Policies. Paper presented at the Proceedings of the 23th International Conference of the System Dynamics Society, Boston, United State of America.
- [35] STERMAN, J. D. (2000). Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. New York: McGraw-Hill.

- [36] VILLEGAS, S., IVANOVIC, R., & IVANOVIC, D. (2009). Peso de nacimiento y posterior estado nutricional, desarrollo cognitivo y actividad ocupacional: una revisión crítica. *Children*, 59(Cc), 369-377.

6 CURRICULUM

Juan Pablo Posada C: Candidato a Magister en Ingeniería de Sistemas - Universidad Nacional de Colombia, Especialista en

Sistemas – Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero de Producción - Universidad EAFIT, Analista Financiero Alcaldía de Medellín - Secretaría de Bienestar Social.

Carlos Jaime Franco C: Doctor en Ingeniería Área de Sistemas Energéticos - Universidad Nacional de Colombia, Magister en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Ingeniero Civil – Universidad Nacional de Colombia.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Generación y acumulación de valor en la cadena de abastecimiento

Mario Andrés López

Universidad Icesi
Calle 18 No. 122-135
(572)5552334

mlopez0301@gmail.com

Pedro Felipe Arana

Universidad Icesi
Calle 18 No. 122-135
(572)5552334

palastra1@hotmail.com

Fernando Antonio Arenas

Universidad Icesi
Calle 18 No. 122-135
(572)5552334

faarenas@icesi.edu.co

RESUMEN

Este trabajo pretende, a través de una simulación por Dinámica de Sistemas, que describe una estructura genérica de cadena de abastecimiento, ofrecer una visión sobre las influencias que ejercen las decisiones de gestión de la cadena de abastecimiento sobre la acumulación de valor de la empresa, representada en métricas tanto financieras como de capital intelectual. Se plantean 3 escenarios para evaluar la política de inversión en activos intangibles. Se presentan los resultados de la simulación y algunas conclusiones respecto al uso de Dinámica de Sistemas para la modelación de este tipo de trabajos.

Palabras clave

Cadena de Abastecimiento, Capital Intelectual, Teoría de Recursos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Administración de la Cadena de Abastecimiento

El énfasis administrativo en la organización logística cambió de un enfoque funcional a un enfoque en los procesos, y trabaja para lograr una alineación estratégica de estos procesos con la demanda de los clientes, a través de la creación de valor logístico.

Aunque la medición del desempeño es una actividad fundamental en la Administración de la Cadena de Abastecimiento, existen carencias en las medidas de la operación del día a día y el desempeño financiero de la compañía. Por un lado, las métricas

financieras parecen inadecuadas en medir el desempeño de la cadena de abastecimiento (CA) porque no poseen una visión hacia adelante y no suelen estar atadas a la efectividad operativa. Por otro lado, las métricas en CA suelen estar fragmentadas y desligadas del desempeño financiero [9]. La gerencia mide la compañía en términos de capital de trabajo y flujo de caja, mientras que operaciones la mide en términos de throughput, fill rates, trabajo en proceso, eficiencia de producción y rotación de inventario. Esta fragmentación de los indicadores hace parte de una aproximación reduccionista presente en muchas organizaciones y conlleva a que en la solución de problemas se traten como exógenos o ignoren aquellos aspectos de la solución que los decisores consideran irrelevantes. [1]. El desafío es proveer una traducción entre los resultados de la operación y las métricas financieras: alinear el flujo de materiales y de información con el flujo de dinero [8].

Aún más precaria es la aproximación entre métricas financieras tradicionales, de intangibles y logísticas. Mucho se ha escrito sobre el impacto positivo de la administración del conocimiento en la generación de ventaja competitiva para las Cadenas de Abastecimiento, pero la revisión de literatura se limita a estudios empíricos y transversales. [10][11][15][18] El creciente interés académico por el conocimiento en las organizaciones nace, en parte, de un interés de las organizaciones que consideran el conocimiento como un recurso para el éxito, en un contexto hiper-competitivo y globalizado donde son altas las presiones por la innovación y la realineación de las actividades relacionadas. [21] Los términos de capital intelectual, activos intangibles y activos de conocimiento han sido ampliamente utilizados en la literatura con significados muy similares y a veces indistintos. En este trabajo no se diferenciará uno del otro. Se acepta la definición dada por el proyecto Intellect de Euroforum para el capital intelectual: “Conjunto de activos de una empresa, que pese a no

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

1.3 Antecedentes

Mientras que algunos autores se han limitado a estudiar la relación entre el trabajo con sistemas que generan ventaja competitiva en la Cadena de Abastecimiento, como por ejemplo Disney & Towill (2003) al estudiar las relaciones entre sistemas colaborativos y la atenuación del efecto látigo, otros pocos han extendido el estudio de estos sistemas sobre los costos de inventario y el servicio final al cliente [28]. Arenas (2009), con la intención de profundizar en las aplicaciones de Dinámica de Sistemas aplicadas a las finanzas, elaboró un modelo que integraba aspectos operativos y financieros de una PYME manufacturera colombiana. Sin embargo, no era el propósito principal del modelo el análisis exhaustivo de dichas relaciones.

Finalmente Arenas (2010) presentó un modelo genérico de una cadena de abastecimiento interna de una compañía contemplada en dos bodegas de materia prima, una línea de producción y tres distribuidores (ver Figura 3). El modelo en dinámica de sistemas pretendía establecer las influencias que ejercen dos características de un modelo colaborativo en cadenas de abastecimiento: el compartir información de la demanda final y el establecimiento de políticas de inventario por parte del proveedor, tanto sobre el efecto látigo como en el desempeño de financiero expresado por el flujo de caja y el retorno sobre activos. Esta cadena representaba de manera genérica los procesos de producción, abastecimiento y distribución de una empresa manufacturera de cables. Así mismo se incorporaba un modelo financiero y algunas métricas de efecto látigo.

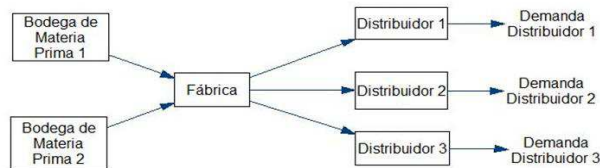


Figura 6 – Estructura general del modelo.

Este trabajo toma como referente el trabajo de Arenas (2010) para incorporar un sub-modelo de capital intelectual que permita una comprensión de la manera en la que se genera y acumula valor tangible e intangible en el tiempo.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO

2.1 DIAGRAMA CAUSAL

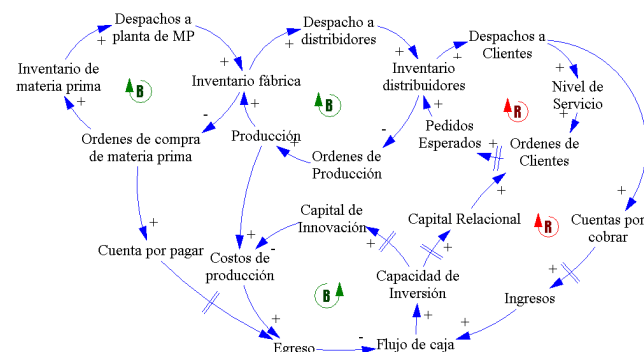


Figura 7 - Modelo Causal de Generación y Acumulación de Valor

El diagrama causal de la Figura 3 presenta tres ciclos principales referentes a las operaciones de cadena de abastecimiento de la empresa, de donde se desprenden relaciones causales con variables financieras. Los dos ciclos inferiores representan las relaciones entre las operaciones de cadena de abastecimiento y los activos intangibles de la compañía.

El primer ciclo a la derecha, es un bucle reforzador que representa las operaciones de distribución. Las *órdenes de clientes* manifiesta la demanda de los clientes de los distribuidores (Figura 4). Cuando estas órdenes aumentan, los *pedidos esperados* también lo hacen por medio de la actualización de los pronósticos de demanda histórica generando que la empresa responda a la demanda con un incremento en sus provisiones de producto terminado o *inventario*. Los *despachos a clientes* consumen el inventario disponible y obligan al distribuidor a generar pedidos de producto a la fábrica.

El bucle superior central, representa las operaciones de la fábrica de la compañía. A medida que se agota el inventario de los distribuidores se generan *órdenes de producción* para suplir la demanda futura. Eventualmente se da la *producción* de cables de manera directamente proporcional a dichas órdenes. A mayor producción de habrá más *inventario de fábrica* que servirá para realizar los *despachos a distribuidores*. Funciona de igual forma para el bucle superior izquierdo, que representan las operaciones de abastecimiento o de bodegas de materia prima. A medida que se agota el inventario de fábrica se generan más *órdenes de compra de materia prima* para reabastecer el *inventario de materia prima* y poder realizar los *despachos a planta*.

Las operaciones de la compañía finalmente representan un impacto en su desempeño financiero. A más *despachos a clientes* se realicen, más *cuentas por cobrar* se generarán que después de un tiempo serán *ingresos*. De igual forma, a más órdenes de compra de materia prima se generen, más *cuentas por pagar* habrá que se volverán pasado un tiempo *egresos* junto con los *costos de producción* asociados.

Hasta este punto se han explicado las relaciones entre las operaciones de cadena de abastecimiento con el desempeño financiero tradicional de una compañía. Sin embargo cuando una compañía decide invertir parte de sus utilidades en el desarrollo humano, innovación o en mercadeo lo hace porque espera de alguna forma tener retribuciones a futuro que agreguen valor a la compañía.

A mayor *flujo de caja* existirá mayor *capacidad de inversión*. Esa capacidad de inversión, representada en la acción de invertir en investigación y desarrollo, mercadeo y en el talento humano, se volverá después de un tiempo *Capital de Innovación* y *Capital Relacional*. El capital de innovación representa las inversiones en investigación y desarrollo junto con las inversiones en capital humano. El capital relacional constituye todo lo invertido en capacidades de mercadeo. Efectivamente, a mayor *capital relacional* se espera que exista un incremento en las órdenes de los clientes por los esfuerzos realizados en mercadeo. Las inversiones en tecnología y recursos humanos deberían impactar la productividad de la compañía, de manera que a mayor *capital de innovación* exista una reducción en los costos de producción.

2.2 MODELO DE SIMULACIÓN

La figura 5 presenta la estructura de distribución del modelo para una sola bodega. A diferencia del modelo de Arenas, la demanda

está sujeta a un factor de confianza que depende tanto del nivel de servicio como de un factor normalizado del capital relacional (CR Norm). Ambas relaciones son directamente proporcionales, es decir que la media de pedidos de los clientes esperada es mayor si existe mayor confianza por parte del cliente y si existe suficiente acumulación de capital relacional.

La forma en la que la fábrica realiza los pronósticos de la demanda depende de la acumulación de capital de innovación que haya. Normalmente la fábrica realiza proyecciones con los pedidos que obtenga de los distribuidores. En la administración de la cadena de abastecimiento, esta falta de visibilidad hacia adelante, es decir hacia el cliente, repercute en un incremento en la transmisión de ruido de las demandas en cada nivel de la cadena. Esta transmisión de ruido, conocida como *efecto látigo*, incrementa los inventarios porque la variabilidad de la demanda es mayor. En el modelo de simulación, cuando se ha acumulado cierta cantidad de capital de innovación, la fábrica cambia a pronosticar con datos de los pedidos reales de los clientes.

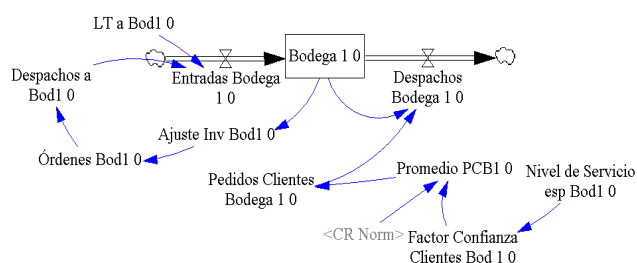


Figura 8 – Estructura del modelo de distribución

En la Figura 6 se muestra la sección del modelo que describe el flujo de efectivo. Los distribuidores venden a crédito y sus precios de venta están ligados a una única política de cartera. Los como ingresos de la fábrica provienen de los recaudos de cartera. Los egresos de efectivo están constituidos por los pagos a proveedores de materia prima, otros costos de producción, los costos logísticos y los gastos operativos fijos. El costo unitario de materia prima depende de la política de pago a proveedores, la cual es común para ambos proveedores. Los costos unitarios de materia prima y de producción están sujetos a una disminución que depende del nivel de capital estructural y humano.

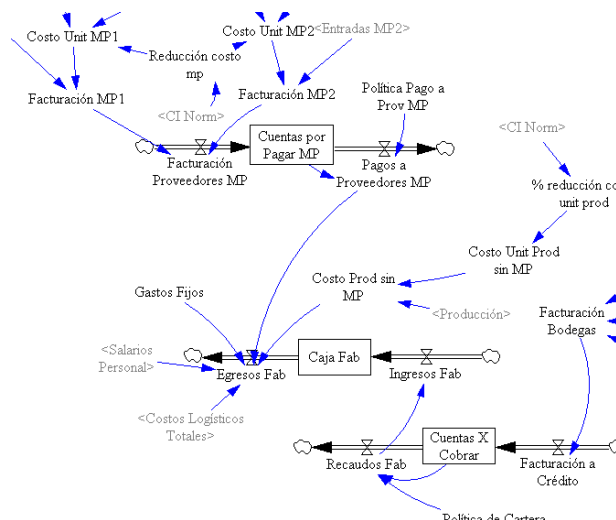


Figura 9 – Estructura del submodelo financiero

Se añadió un sub-modelo de capital humano representado en la Figura 7. Los pedidos de los clientes, determinan la fuerza laboral necesaria para cumplir con los requerimientos de producción. Lo anterior se compara con la fuerza de trabajo disponible para determinar cuántos empleados se necesitan despedir o contratar para el siguiente periodo. Solo se contratan aprendices. Los aprendices pueden pasar a expertos después de un periodo de capacitación que depende de la inversión que se realice. Existe un factor de productividad según el número de empleados expertos y aprendices que se posean. A mayor número de expertos, mayor es el factor de productividad. El incremento en este factor influye disminuyendo el ciclo de manufactura. Los salarios de los expertos son mayores, pero contribuyen más al capital de humano de la empresa.

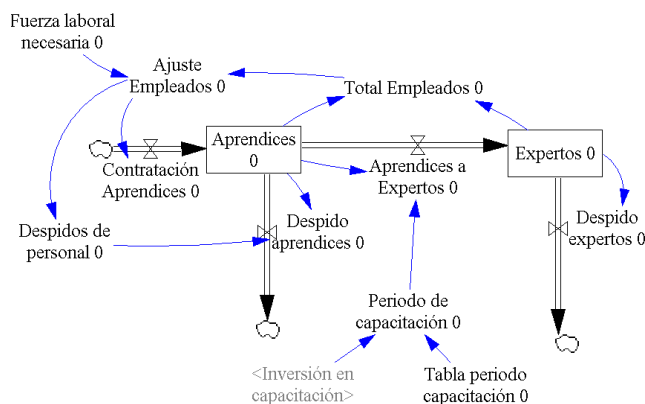


Figura 10 – Estructura del capital humano

La estructura de flujos y niveles para el Capital Relacional se presenta en la Figura 8. El flujo de caja neto representa una capacidad de inversión. El porcentaje de cuánto invierte la empresa se toma como un parámetro del modelo. La capacidad de inversión puede transformarse en inversión en mercadeo, en capacitación del recurso humano o en investigación y desarrollo. Para cada caso, el porcentaje de inversión en cada área es un parámetro. Las entradas de capital relacional son un flujo tratado como una demora de primer orden. Para cada caso, el capital de los activos intangibles se deprecia. En el caso particular del

capital relacional, se justifica en que los esfuerzos que se realicen en mercadeo perderán impacto gradualmente, tal es el caso de la publicidad. La estructura de flujos y niveles del capital humano y estructural son similares a la presentada en la Figura 7.

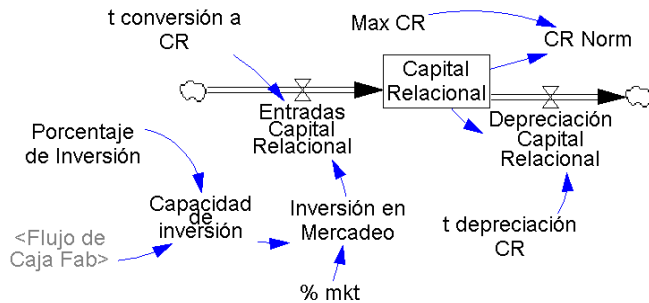


Figura 11 – Estructura del capital relacional

3. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS

Se plantean tres escenarios:

- Base: La empresa no invierte parte alguna de sus utilidades
- La empresa decide invertir el 10% de sus utilidades
- La empresa decide invertir el 30% de sus utilidades

La Figura 9 muestra el flujo de caja acumulado de la fábrica para los tres escenarios presentados. El mejor desempeño financiero lo logra la inversión del 30% de utilidades, y el peor desempeño la inversión del 10%.

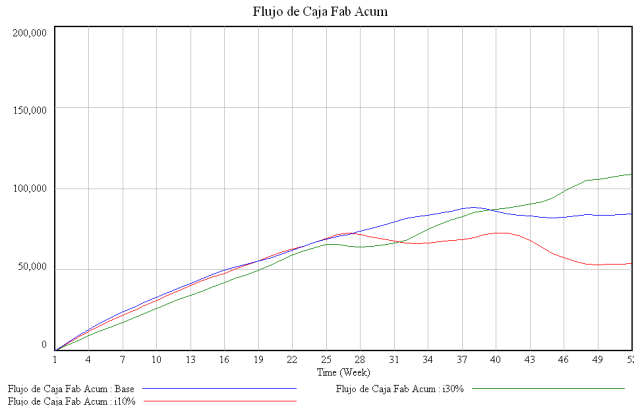


Figura 12 – Flujo de caja acumulado

Cuando no se invierte dinero en personal, estructura o mercadeo, las utilidades de la compañía dependen del desempeño operacional de la fábrica. Los egresos se representan en los gastos fijos, de personal, logísticos, producción y de pago a proveedores. En este escenario, el capital relacional y estructural es cero. Sí existe, sin embargo, una acumulación pequeña de capital humano debido a los salarios de los empleados. Debido a que no se invierte en capacitación, el periodo de transición en el cual un empleado *aprendiz* se vuelve *experto* es bastante largo y por lo tanto la productividad de la fábrica así como su generación de capital humano es lento y despreciable (Figura 10). En ningún momento la acumulación de capital es suficiente para lograr mejoras significativas en el desempeño operacional o financiero. Como no se invierte en mercadeo, los pedidos de los clientes en

este escenario son significativamente menores que en los otros dos, pero también lo es la variación en los pedidos (Figuras 11 y 12). Esto lleva a que el nivel de servicio de los distribuidores a los clientes sea mayor en este escenario respecto a los que sí se invierte (Figura 13).

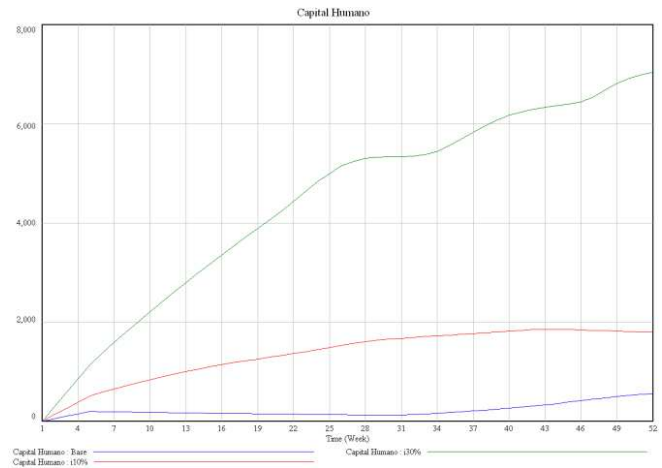


Figura 13 – Capital Humano

El escenario de inversión del 10% presenta el peor desempeño financiero. La acumulación de capital de innovación ocurre de manera significativamente mayor al escenario donde se invierte un 30% de utilidades y aunque disminuyen los costos asociados a la fabricación y aumenta la base de pedidos, la utilidad generada no es mayor al gasto representado por la inversión realizada. Este escenario muestra cómo a pesar de la generación de valor devenido de una inversión, la acumulación de intangibles no tiene impactos positivos en el desempeño financiero porque la calidad del activo no es suficiente para contrarrestar el gasto.

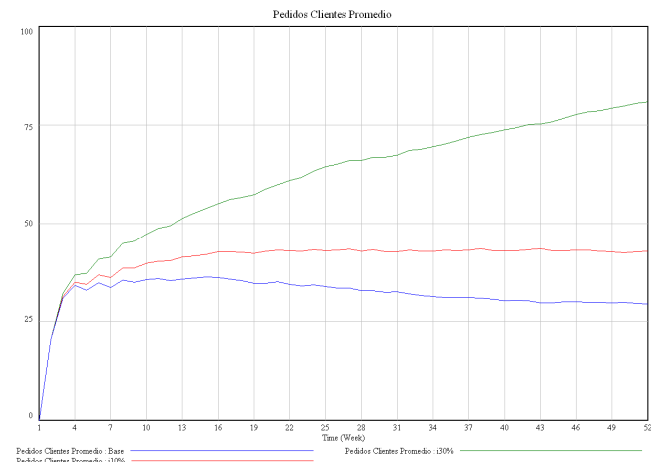


Figura 14 – Pedidos promedio de clientes

Una inversión del 30% de las utilidades genera el mejor desempeño financiero, porque la acumulación de intangibles es suficiente para disminuir los costos y aumentar los ingresos, por el incremento en la base de pedidos de clientes. Sin embargo, el nivel de servicio promedio de los distribuidores tiene el peor desempeño debido al incremento en la variación de las órdenes que se presentan y a pesar de lograr generar pronósticos con visibilidad hacia adelante. Este escenario representa situaciones

donde la alineación de flujos y niveles de activos intangibles repercuten positivamente en el desempeño y calidad de los activos tangibles, que finalmente constituye un mejor desempeño organizativo.

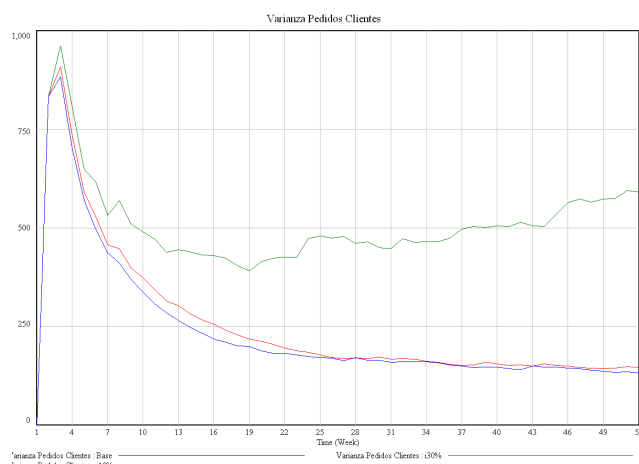


Figura 15 – Varianza de los pedidos de los clientes

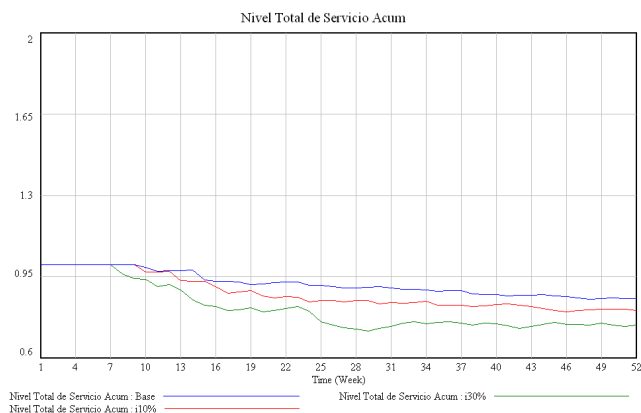


Figura 16 – Nivel de servicio acumulado de los distribuidores al cliente

4. CONCLUSIONES

El estudio permite concluir que:

- La literatura que vincula los estudios de medidas de los activos intangibles con la gestión de la Cadena de Abastecimiento es muy limitada, a pesar de ser evidente la necesidad de alinear las métricas financieras y operativas. Los autores consideran que el vínculo entre ambas está en la teoría de Visión Dinámica de Recursos. La teoría encontrada y las experiencias empíricas relacionan los activos intangibles y tangibles con el desempeño de la organización. Dichas relaciones se extienden fuera del ámbito financiero y encuentran vínculos con la operación de la compañía. La VDR permite entender el comportamiento en el tiempo de los recursos intangibles y tangibles para predecir el comportamiento del valor de la empresa como un sistema y no como entidades separadas. La Dinámica de Sistemas resulta muy apropiada para modelar las relaciones por medio de diagramas causales, entender el comportamiento en el tiempo por medio de la simulación y

proporcionar una herramienta para la evaluación de políticas gerenciales.

- El uso de la Dinámica de Sistemas resulta pertinente en la modelación de sistemas de cadenas de abastecimiento donde interfieren métricas y desempeños inter-organizacionales, porque permite analizar a la cadena como una totalidad en la que los sub-sistemas agregan valor por una suma de factores tangibles e intangibles.

Estas conclusiones no son generalizables. El modelo que aquí se presenta puede ser extrapolado a situaciones donde se presenten atributos de cadena de abastecimiento similares. También hay que tener en cuenta que el modelo está limitado a las dinámicas internas de la organización, sin tener en cuenta las decisiones que tomen los proveedores y otras variables relacionadas con el mercado; lo cual abre la posibilidad a futuras investigaciones.

Una posible extensión de este trabajo sería la elaboración de un simulador de vuelo gerencial que se aplique a personas que tengan a su cargo áreas de operaciones y financieras para estudiar cómo el modelo puede o no ayudar en el proceso de toma de decisiones relacionadas con la inversión en activos intangibles.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Arenas, F.A. Una aproximación a los indicadores de gestión a través de la dinámica de sistemas. *Sistemas y Telemática*, 3. (Enero 2004), p69-81.
- Arenas, F.A. Acceso al crédito y límites del crecimiento en Pymes: una mirada a través de la dinámica de sistemas. *Sistemas y Telemática*, 7, 14. (Julio 2009), p33-45
- Arenas, F. A. Finanzas, colaboración y “efecto látigo” en la cadena de abastecimiento: una aproximación a través de la Dinámica de Sistemas. In *8º congreso latinoamericano y encuentro colombiano de dinámica de sistemas*. (Medellín, Colombia, Noviembre 17-19, 2010). Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Antioquia, 2010.
- Bernardez, M. L. *Capital Intelectual: Creación de valor en la sociedad del conocimiento*. AuthorHouse, Indiana, 2008.
- Bontis, N. Assessing knowledge assets: a review of the models used to measure intellectual capital. *International Journal of Management Reviews*, 3,1 (Marzo 2001), p41-81.
- Booker, L., Bontis, N. The relevance of knowledge management and intellectual capital research. *Knowledge and Process Management*, 15, 8. (Octubre-Diciembre 2008), p235-246.
- Bowersox, D. et al. *Supply Chain Logistics Management*. McGraw Hill, USA, 2002.
- Camerinelli, E. Supply Chain Finance. *Journal of Payments & Systems*, 3, 2. (Octubre, 2008), p114-128
- Camerinelli, E., Cantú, A. Measuring the value of the supply chain: A framework. *Supply Chain Practice*, 8, 2. (2006), p40-59
- Capó-viceo, J. et al. La gestión del conocimiento en la cadena de suministro. Análisis de la influencia del contexto organizativo. *Información Tecnológica*. (Septiembre, 2005), 9p.

- [11] Capó-vecido, J. et al. La importancia de la gestión del conocimiento en la cadena de suministro de la construcción. *IX Congreso de Ingeniería de Organización*, 18, 1. (2007), p127-135.
- [12] Doman, A. et al. The dynamic talent-growth. *McKinsey Quarterly*, 1. (2000), p 106-115.
- [13] Disney, S.M., Towill, D.R. Vendor managed inventory and bullwhip reduction in a two level supply chain. *International Journal of Operations & Production Management*, 23, 6. (2003), p625-651
- [14] Edvinsson, L., Malone, M. *El capital intelectual: cómo identificar y calcular el valor de los recursos intangibles de su empresa*. Gestión, Barcelona, 1999
- [15] Halley, A., Beaulieu, M. Knowledge Management Practices in the context of Supply Chain Integration: The Canadian experience. *An international journal*, 6, 1. (2005), p66-81
- [16] Kaplan, R. S., Norton, D.P. *Cómo utilizar el cuadro de mando integral para implantar y gestionar su estrategia*. Gestión, España, 2000
- [17] Kaplan, R. S., Norton, D.P. *Strategy Maps: Converting Intangible Assests into tangible outcome*. Harvard Business School Publishing, Boston, 2004
- [18] Laftha, Z et al. Identifying added value in integrated oil supply chain companines, a case study. *17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering*. (Zurich, Suiza, Mayo 27-30, 2007)
- [19] Nonaka, I. y Takeuchi, H. *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press, USA, 1995
- [20] Roos, J et al. *Intellectual Capital*. MacMillan Press Ltd, Hampshire, 1997
- [21] Stewart, T.A.. *El capital intelectual: la nueva riqueza de las organizaciones*. Ediciones Gránica, Buenos Aires, 1998.
- [22] Von Georg, K., Grand, S. Justification in Knowledge creation: Dominant Logic in Management disclosures *Knowledge Creation: A source of Value*. Palgrave, Hampshire, 2000.
- [23] Warren, K. Improving strategic management with the fundamental principles of system dynamics. *System Dynamics Review*, 21, 2. (Invierno 2005), p339-350
- [24] Warren, K. The Invisible Ink. *Business Strategy Review*, 15, 4. (Invierno, 2004), p57-65.
- [25] Warren, K. The dynamics of strategy. *Business Strategy Review*, 10, 3. (Otoño, 1999), p1-17.
- [26] Warren, K. The softer side of Strategy Dynamics. *Business Strategy Review*, 11, 1. (Spring 2000), p45-59
- [27] Wernefelt, B. A Resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5, 2. (Abril 1984), p.171-180
- [28] Yuan, X., Shen, L., Ashayeri, J. Dynamic simulation assessment of collaboration strategies to manage demand in gap in high-tech product diffusion. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26, 6. (2010), p647-657

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A.

July Moscoso G.

Universidad Libre

Estudiante de Ingeniería Industrial

(57) 3125331868

july.moscosg@unilibrebog.edu.co

Mileidy Perdomo M.

Universidad Libre

Estudiante de Ingeniería Industrial

(57) 3004317686

mileidy.perdomom@unilibrebog.edu.co

Lady J. Perdomo P.

Universidad Libre

Estudiante de Ingeniería Industrial

(57) 3134737869

ladyj.perdomop@unilibrebog.edu.co

Oscar Mayorga T.

Universidad Libre

Ingeniero Industrial, Docente Investigador

(571) 4232726

oscar.mayorgat@unilibrebog.edu.co

ABSTRACT

In this paper, we describe the formatting guidelines for 9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas Proceedings.

This research shows the model of a Mass Transit System using System Dynamics (SD) in a particular scenario, and whose objective criterion focuses on the system explain the discrepancies in terms of available resources (supply O_i) and needs users of it (D_j demand) for the actors who manage the system take the right decisions ($tn+1$).

The methodology is divided into phases: I Concept, II Database; III Formalization, IV Formulation, V Implementation in Computer, VI Validation; VII Experiments, VIII Interpretation. The DS modeling, was able to determine the overuse of the resources of mass transit system, as the demand (D_j) is greater than supply (O_i) which causes the system to lose effectiveness, responsiveness, satisfaction the actors and increased operating costs, on the other hand raises the possible strategies to follow to optimize the available capacity (infrastructure) of the system ($tn+1$).

Keywords

System Dynamics, Mass Transport, Modelling.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

1. INTRODUCTION

Los sistemas de transporte masivo de las ciudades Latinoamericanas enfrentan grandes polémicas por su problemas de contaminación ambiental, auditiva y visual; calidad del servicio; costo de mantenimiento; precio del pasaje; cobertura; capacidad disponible, entre otros. Estas condiciones hace que los sistemas no sean eficientes ni eficaces a la hora de ofrecer un servicio que responda de forma efectiva a las necesidades de los usuarios y habitantes de la ciudad, en este sentido se plantean interrogantes acerca de la satisfacción y percepción del servicio por parte de los actores que lo integran.

De acuerdo con la revisión documental; las investigaciones y estudios realizados han permitido observar que el 47,6% de los sistemas de transporte masivo Latinoamericanos se han convertido en sistemas obsoletos, a consecuencia de la baja transferencia en el recambio tecnológico, limitantes de infraestructura de las ciudades, creciente cantidad de usuarios, parque automotor deficiente y limitado.

En el caso particular, el Sistema de Transporte masivo Transmilenio de la ciudad de Bogotá ha sido el que ha buscado integrar los actores de la movilidad por medio de la arquitectura de un sistema que brinde una cobertura total a todas las zonas de la ciudad, por medio de la eliminación sistemática de rutas de empresas de transporte público particular, esta eliminación de rutas hizo que la demanda migrara al sistema de forma paulatina y que este a través de los años se fortaleciera. Por otro lado las obras civiles del sistema se planean por fases lo cual hace que este ofrezca una infraestructura limitada y en el sentido contrario la demanda crece.

En el desarrollo de la presente investigación se logró identificar los actores, restricciones, recursos, indicadores, medios tecnológicos y variables que integran la estructura del sistema de transporte masivo Transmilenio obteniendo como resultado la discrepancia que se presenta entre la oferta compuesta por la flota transportadora, taquillas, estaciones y portales del sistema; por otro lado la demanda compuesta por los usuarios/día que acceden al sistema que en promedio es de 1.326.366⁵⁰, al determinar la discrepancia los actores que tienen la gobernabilidad del sistema tienen de cerca la información necesaria para tomar las decisiones pertinentes en cuanto al mismo refiere.

2. SISTEMAS INTEGRADOS DE TRANSPORTE MASIVO EN COLOMBIA

La movilidad es un tema fundamental para las políticas públicas mundiales; hoy día los Sistemas Integrados de Transporte (SIT) son los que afrontan el reto de dar soluciones técnicas, financieras, sociales y medioambientalmente sostenibles en una nación. Colombia se encuentra a la vanguardia de los Sistemas Integrados de Transporte a nivel de Latinoamérica, contando en la actualidad con 7 proyectos adelantados de manera simultánea en diferentes ciudades del país, lo que hace que se presenten problemas inesperados que requieren de soluciones de largo plazo. Los sistemas integrados de transporte reconocidos que actualmente funcionan en Colombia son:

- Megabus S.A. - Pereira (Risaralda)
- Metrocali S.A. - Cali (Valle del Cauca)
- Metrolínea S.A. - Bucaramanga (Santander)
- Transmetro S.A. - Barranquilla (Atlántico)
- Transcaribe S.A. - Cartagena (Bolívar)
- Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá Ltda. – Medellín (Antioquia)
- Transmilenio S.A. – Bogotá D.C. / Soacha (Cundinamarca).

Es importante resaltar que la Nación ha asumido cuantías importantes de inversión pública para la implementación de los mencionados SITM [4].

2.1 Transmilenio S.A.

Transmilenio S.A. sistema de transporte autosostenible, el cual se basa en un esquema de Buses de Transito Rápido (BTR) que transitan por calzadas exclusivas, en los carriles centrales de las principales avenidas de la ciudad, facilitando el rápido y organizado abordaje, con portales principales y estaciones cerradas que son los únicos puntos de parada de los servicios. Adicional a los servicios troncales con BRT, funcionan los servicios alimentadores los cuales apoyan las rutas troncales, transportando y distribuyendo una parte de la demanda [7].

Transmilenio S.A. maneja una tarifa integral, con un sistema de recaudo a través de taquillas en la entrada de cada estación o porta, también se puede adquirir el tickete (pasaje) en diferentes

puntos autorizados tales como droguerías, universidades, entre otros.

Transmilenio es un referente en el mundo, que también podría llamarse “un producto tipo exportación de Colombia”, pues este SITM es tomado como modelo para ser aplicado en ciudades como Guadalajara, Milán, Ciudad de México, Chile, entre otras [8].

3. SINOPSIS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Objetivo

El objetivo de la investigación es diseñar Un Modelo de Dinámica de Sistemas que busque comprender el Sistema Transmilenio S.A. con el fin de tomar las decisiones adecuadas en términos económicos, logísticos, gubernamentales y sociales.

A partir de este planteamiento se toma como muestra el Portal del Norte, del cual se conceptualizarán las variables, actores, recursos y escenarios del Modelo Teórico.

3.2 Problema

3.2.1 Problema

Transmilenio S.A. es la primera empresa de transporte masivo de la capital que posee la gobernabilidad sobre el sistema de transporte. Desde hace 10 años la implementación del sistema produjo la eliminación selectiva de rutas de transporte público privado, lo que hace que Transmilenio sea prácticamente su única opción de transporte; esta creciente demanda (ver Figura 1) hace que la infraestructura del sistema se encuentre limitada, la capacidad institucional sea deficiente y en consecuencia de esto se incrementen los niveles de insatisfacción de los usuarios.

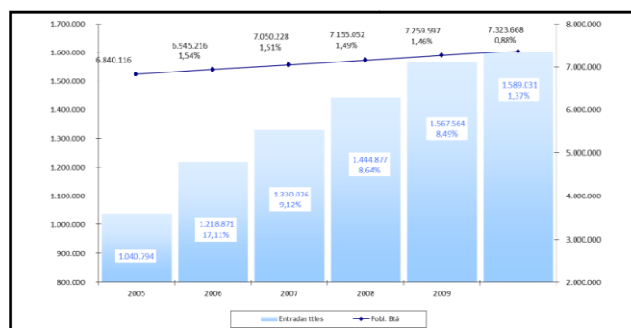


Figura 1. Crecimiento Demanda Anual Sistema Transmilenio S.A.

3.2.2 Formulación

¿Cómo optimizar la funcionalidad del Sistema Transmilenio S.A. en el Portal Norte a partir del Modelamiento en Dinámica de Sistemas DI?

4. DIAGNOSTICO

Para seleccionar el escenario objeto de estudio se realizó un diagnóstico del nivel de utilización de los portales del sistema medido por número de usuarios.

⁵⁰ Base de datos Transmilenio S.A. [Consultado en octubre de 2010]

A partir de este diagnostico se pudo establecer como escenario muestral el portal del norte en razón a que el número de usuarios que ingresa y salen de este es el mayor a todo el sistema. (ver figuras 2, 3 y 4).

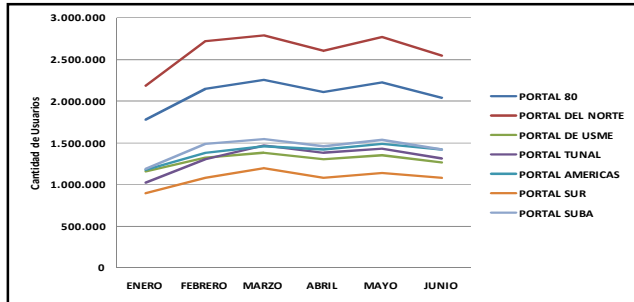


Figura 2. Ingresos de usuarios al sistema Transmilenio S.A. por medio de portales I semestre 2011

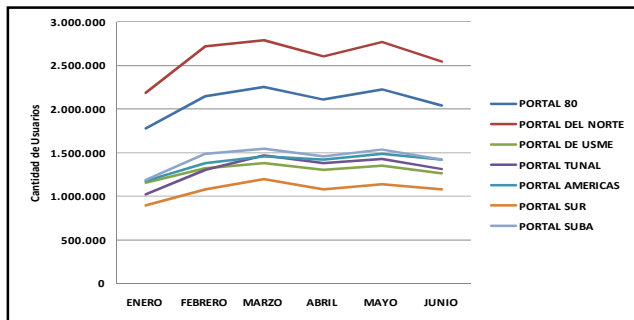


Figura 3. Salidas de usuarios al sistema Transmilenio S.A. por medio de portales I semestre 2011

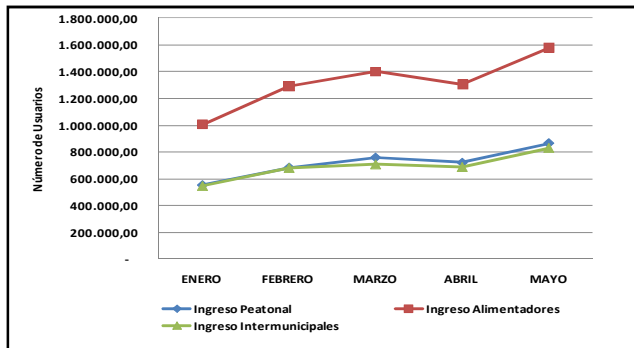


Figura 4. Ingresos de usuarios al sistema Transmilenio S.A. por medio del portal Norte (Enero-Mayo/2011)

5. DESARROLLO DEL MODELO

5.1 Conceptualización del modelo

En este primer paso se identifica gráficamente los actores, escenarios y relaciones del sistema (ver figura 5) con el fin de entender la estructura del mismo, para el caso en particular se describe la estructura del Portal Norte escenario seleccionado para la investigación.

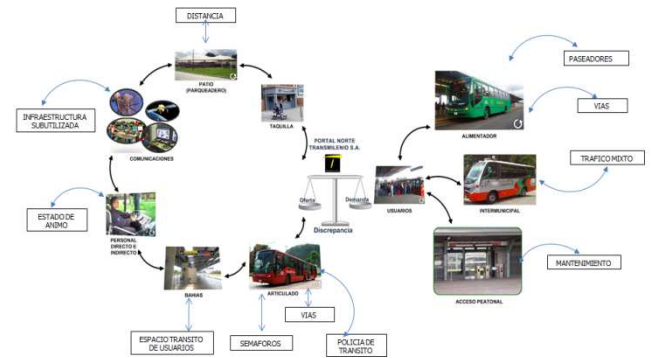


Figura 5. Diagrama básico del sistema Transmilenio – Portal Norte

5.2 Parámetros del Modelo

Conceptualizado el modelo se han identificado las variables entre las cuales se producen influencias y de igual manera se han clasificado en: variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros del modelo

NOMBRE	DESCRIPCION	TIPO
PN	Portal Norte	Variable de Nivel
TA	Tasa de Arribos	Variable de Flujo
TS	Tasa de Servicio	
I	Intermunicipales	Variables Auxiliares
AP	Acceso Peatonal	
AL	Alimentadores	
TQ	Taquilla	
BH	Bahías	
PT	Patio	
CM	Comunicaciones	
PDI	Personal Directo e Indirecto	
AR	Articulados	
P	Paseadores	
V	Vías	
TM	Trafico Mixto	
M	Mantenimiento	
PT	Policia de Tránsito	
S	Semaforos	
ETU	Espacio Transito de Usuarios	Constante
EA	Estado de Animo	
IF	Infraestructura	
D	Distancia	
DS	Discrepancia	

5.3 Diagrama DS del Modelo

Después de haber determinado las variables del modelo se establecen sus diagramas DS (ver figura 6).

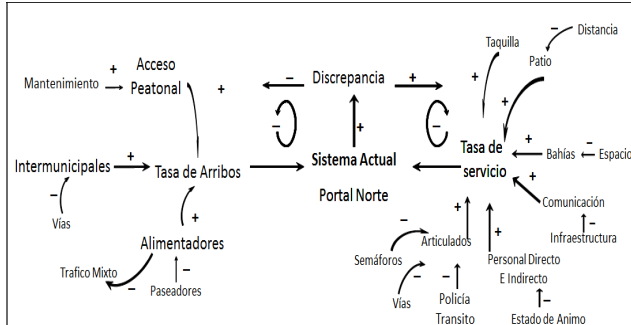


Figura 6. Diagrama de Influencias o Causal

6. VALIDACIÓN

El modelo fue planteado en el software VenSim® y con él se obtiene el escenario “Base” o “Cero” para empezar el proceso de consolidación del modelo del sistema, en esta primera aproximación se obtuvo la siguiente simulación, donde es posible observar todas las interrelaciones existentes entre las variables y la discrepancia entre la oferta y la demanda (ver figura 7).

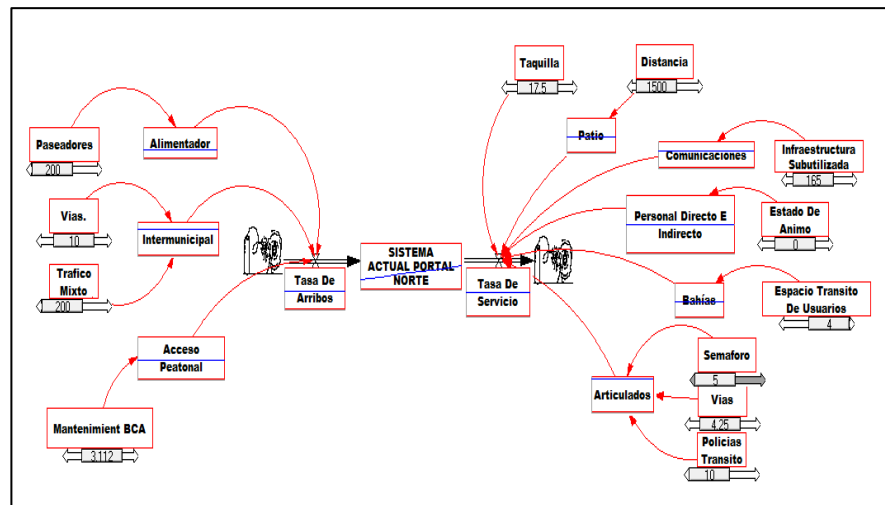


Figura 7. Simulación del Modelo – Software Vensim®

7. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En el escenario base o cero se logran establecer las primeras aproximaciones de la inestabilidad del sistema que generan la discrepancia entre la oferta y demanda del mismo, en este sentido se pueden establecer como decisiones inicial que el aumento de la oferta en cuanto a taquillas, flota de buses, comunicaciones, personal operativo y seguridad minimizaran el impacto de la demanda; sin embargo esta decisión hace que la utilización del sistema sea costosa en la medida que estas estrategias en términos de costos se traducen en un aumento de tarifas de pasaje de los usuarios.

Con la simulación se pudo evidenciar los principales bucles de realimentación, demoras y la relación de proporcionalidad entre las variables ayudando a percibir los elementos de la estructura que se encuentran detrás de la problemática y los puntos donde se pueden generar apalancamientos.

Observando la simulación realizada, donde la tasa de arribos es alta, se comprueba como la creciente demanda no ha permitido que haya estabilidad en el sistema para responder a la mejora del mismo de manera oportuna.

Con lo anterior, se pueden iniciar las réplicas en los demás portales del sistema, de tal forma se tenga un completo análisis de todas las entradas y salidas de los usuarios y así diseñar el modelo general del mismo y entender holísticamente lo que el sistema de transporte masivo Transmilenio aporta en términos de eficiencia y competitividad a la ciudad.

8. CONCLUSIONES

Planteado el modelo se ha logrado identificar de forma asertiva la realidad del Sistema del transporte masivo Transmilenio S.A. teniendo en cuenta que dicho modelo genera comportamientos característicos del mismo, en razón que sus actores, restricciones, variables, parámetros y escenarios son homogéneos para todo el sistema, en esta primera aproximación se tomó el escenario que mas actuación tiene sobre el sistema en términos de entradas y salidas de los usuarios del sistema.

Con la aplicación de Dinámica de Sistemas para el caso del sistema de transporte masivo Transmilenio se logra comprender holísticamente el sistema a partir de un escenario muestra, en este sentido la técnica sirve para entender, interpretar y validar sistemas o arquitecturas sistémicas complejas por el número de actores, variables o restricciones que en ella misma intervienen.

Ha sido posible identificar como al intervenir un mayor numero de variables dentro del modelo es posible llegar a comprender el Sistema Transmilenio S.A. de manera que los actores que tienen la gobernabilidad del sistema pueden tomar las mejores decisiones en términos del servicio, la satisfacción y percepción buscando incrementar la competitividad del sistema a nivel local. De igual manera es posible determinar cómo reducir el efecto dominó existente.

Al realizar la programación del modelo en el software VenSim ha sido posible observar diferentes simulaciones, con las cuales es viable continuar documentando la presente investigación, realizando los respectivos análisis estadísticos y con ello lograr la comprensión máxima del sistema.

9. REFERENCIAS

- [1] Aracil, J. Gordillo F. (1997) *Dinámica de Sistemas*. Alianza Universidad Textos. Madrid.
- [2] Ballou R.H. (2001) *Logística empresarial: control y planificación*. Ed. Díaz de Santos.
- [3] Bertalanffy L.W. (1999) *Perspectivas en la Teoría General de Sistemas*. Alianza Editorial. Madrid.
- [4] Carrillo U. Gloria A., *Estudio Sectorial: Sistemas Integrados de Transporte Masivo en Colombia: avances, retos y perspectivas en el marco de la política nacional de transporte urbano*. Contraloría General de la República de Colombia. Jul. 2010.
- [5] Forrester, J. W. (1971). *World Dynamics*. Norwalk, CT: Productivity Press.
- [6] Forrester, J. W. (1975). *Collected Papers of Jay W. Forrester*. Norwalk, CT: Productivity Press.
- [7] Garzón, Luis E., Martínez O. Astrid, *Cinco años construyendo futuro: Transmilenio S.A. Panamericana Formas e Impresos, S.A.* 2005.
- [8] Sociedad Colombiana de Ingenieros. *Movilidad El Gran Dilema*. Revisa Anales de Ingeniería. R Año 121 – 2009.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Análisis sistémico y viabilidad de organizaciones rurales en Colombia

Systemic analysis and viability of rural organizations in Colombia

José Isidro Vargas Pinto M. Sc. (c)

Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá
Facultad de Agronomía

Cra. 30 No. 45-03. Bogotá (Colombia)
(57)(03) 3204129419

jivargasp@unal.edu.co

Iván Alonso Montoya Ph. D.

Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
Facultad de Minas

Cra. 80 No. 65-223. Medellín (Colombia)
(57)(03) 3005632034

iamontoyar@unal.edu.co

RESUMEN

Las organizaciones rurales como sistemas socio-técnicos afrontan situaciones que, a nivel externo e interno, continuamente se presentan como amenazas a su viabilidad. Tales retos se caracterizan por su complejidad, alto dinamismo y por la imposibilidad, en la mayoría de los casos, de ser caracterizados y tratados por medio de análisis de causalidad lineal. Esta situación motivó la aplicación de teorías sistémicas que analizaran los fenómenos que amenazan la viabilidad de las organizaciones rurales en Colombia, y a plantear modelos de organización con ayuda de teorías como el Modelo de Sistema Viable (MSV), la Metodología de Sistemas Suaves de Checkland (MSS) y la aplicación de algunas herramientas de la Dinámica de Sistemas y la investigación cualitativa. Los resultados obtenidos indican que en las organizaciones rurales, cuya visión compartida es el mejoramiento de las condiciones de mercadeo y el aumento de las utilidades financieras, se encuentran limitadas por variables como la mano de obra, los precios de sus productos y el nivel de motivación y compromiso que tengan sus miembros.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Palabras clave

Análisis sistémico, viabilidad organizacional, Modelo de Sistema Viable, organizaciones rurales, visión compartida, desarrollo rural.

ABSTRACT

Rural organizations such as socio-technical systems are faced with situations that, at the level of external and internal, continually arise as threats to its viability. Such challenges are characterized by their complexity, high dynamic and by the impossibility, in most cases, to be characterized and treated by means of analysis of lineal causality. It is situation led to the implementation of systemic theories to analyse phenomena that threaten the viability of rural organizations in Colombia, and to consider models of organization with the help of theories such as the Viable system model (VSM), soft systems methodology of Checkland (SSM) and the application of system dynamics and the qualitative research tools. The results indicate that in rural organizations, whose shared vision is to improve the conditions of marketing and the increase of financial profits, are limited by variables as labour, the prices of their products and the level of motivation and commitment to their members.

Keywords

Systemic analysis, organizational viability, Viable System Model, rural organizations, shared vision, rural development.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, así como en el resto del mundo, las organizaciones son sistemas de actividad humana y social mediante los cuales se busca lograr un objetivo común, que de forma individual cada uno de los miembros de la misma no podría conseguir. Las

organizaciones rurales constituyen estructuras sociales, principalmente de agricultores, cuya formación es alentada por los gobiernos debido a su importancia en el cambio institucional de una nación..., siendo a la vez objeto y productores del mismo [1].

La eficacia de las organizaciones de productores a menudo se ve limitada por las restricciones legales, la escasa capacidad de gestión, el acaparamiento de las organizaciones por las élites, la exclusión de los pobres y la falta de reconocimiento de su calidad de socios plenos por parte del Estado [2].

Estas organizaciones son siempre susceptibles a la extinción, entendiendo esta no propiamente como la desaparición de la misma sino también como el no logro de sus objetivos. Son principalmente tres las razones por las cuales ocurre tal extinción; la primera debido al factor de inexperiencia que tenga la organización, la segunda se refiere a las fallas que se derivan de impactos tecnológicos negativos o cambios similares en el entorno. La tercera perspectiva examina las fallas aparentemente inexplicables en la naturaleza de la organización [3]. Son básicamente la segunda y tercera perspectiva las que se abordan en la presente investigación, la cual busca un mayor entendimiento del funcionamiento de estas organizaciones mediante el uso de metodologías de análisis sistémico para luego hacer propuestas funcionales y estructurales para hacerlas viables en el tiempo.

2. LAS ORGANIZACIONES RURALES EN COLOMBIA

Las organizaciones son ante todo percepciones de un fenómeno social que los seres humanos utilizamos para poder comprenderlo mejor, dándole unos límites unos atributos de acuerdo a nuestros procesos de pensamiento racional.

La organización es un sistema abierto dinámico; esto es, que está caracterizado por un proceso continuado de *input*, transformación, y *output*. El *input* organizacional engloba, por regla general, a persona, materiales y energía; el *output* organizacional está típicamente constituido por productos o servicios, aunque podría consistir básicamente una gratificación psicológica recibida directamente por los miembros. La apertura de la organización como sistema significa que se encuentra en eterna dependencia de su medio ambiente para la absorción de sus productos y servicios y para recibir el necesario *input* que activará los procesos organizacionales de transformación, manteniendo así en existencia a la organización [4].

Un posible cuestionamiento que surge ahora del planteamiento hecho hasta ahora podría ser el ¿Por qué las organizaciones son vistas como sistemas? Para responder se debe iniciar por la noción más básica de sistema. De acuerdo a Bertalanffy [5] “un sistema es un conjunto organizado de cosas o partes interactuantes e interdependientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo”. Dice además que el sistema es un conjunto de unidades recíprocas relacionadas que deducen a dos conceptos: propósito u objetivo, y globalismo o totalidad. La administración de una organización, en las condiciones actuales, representa para su líder la necesidad de ver y sobre todo “comprender” la empresa como un conjunto de elementos y factores que interactúan en pos de alcanzar un propósito u objetivo común. Cada uno de estos elementos tiene una función específica dentro del conjunto, integrada a las diversas funciones particulares que cumple cada elemento, interactuando entre sí y “comunicándose” de manera constante y efectiva a través de procesos de alimentación y

retroalimentación. Las interacciones entre elementos internos se ven en alguna medida afectadas por factores internos y externos. Es decir, el conjunto se encuentra situado dentro de algo y con lo cual intercambia influencia [6].

Ahora bien, vistas las organizaciones como sistemas habría que saber por qué se les considera complejas. Como primer acercamiento a una conceptualización de este cuestionamiento “El término complejidad expresa la imposibilidad de definir de manera simple lo que nos rodea...Complejo, del latín *complexus*: lo que está tejido en conjunto” [7]. La complejidad, más allá de asociarse a una incomprensible e infinita cantidad de variables e interrelaciones entre ellas, comprende también incertidumbres, indeterminaciones, fenómenos aleatorios y azar. Se considera que es una mezcla íntima entre orden y desorden coexistiendo en sistemas ricamente organizados [8].

El pensamiento sistémico viene a ser una respuesta epistemológica a la complejidad del mundo que nos rodea, que se basa en principios de reciprocidad, conectividad, holismo, indeterminismos, incertidumbre, causalidad mutua, etc. Su aplicación a la comprensión de organizaciones rurales es un paso importante para comprender, de manera más completa, el problema de su viabilidad en el tiempo.

En Colombia no es difícil encontrar organizaciones rurales legalmente conformadas, lo difícil es encontrar que estas funcionen eficiente y eficazmente, sobre todo al tratarse de aquellas cuyo objeto principal es mejorar procesos de comercialización. De hecho, es en este aspecto en el que se encuentran menos acciones colectivas consolidadas [9]. No obstante, las organizaciones rurales son un mecanismo mediante el cual se canalizan recursos de inversión pública estatal, lo que permite mejorar el acceso a mercados y a créditos. Esto último se evidencia en que al año 2010, el 53% de los créditos para el sector agropecuario se entregaron a través de organizaciones [10]. Otros apoyos canalizados por estos grupos de agricultores son aquellos que se ofrecen por medio de programas como Oportunidades Rurales, Alianzas Productivas y Convocatorias para Riesgos y Drenajes del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.

Finalmente, las organizaciones rurales, desde las conformadas netamente por productores primarios, hasta aquellas de mayor nivel que agrupan productores, comercializadores, industriales, entre otros, con enfoque de cadena, son prioridad de trabajo en los próximos años para incrementar la competitividad del sector, diversificar la oferta productiva, acceder a mercados, etc. [11].

3. ANÁLISIS SISTÉMICO PARA EL MODELAMIENTO Y DISEÑO DE ORGANIZACIONES RURALES VIABLES

Las organizaciones como sistemas son dinámicas y complejas, al igual que los problemas a los que se enfrentan con el paso del tiempo. Esta dinámica se constituye como un reto en cuanto al cómo entenderlas y modelarlas. Esto requiere, en primer lugar, aceptar su complejidad, la no linealidad y las estructuras de bucles de aprendizaje que son inherentes a estos sistemas sociales y físicos. Ahora, pasar del entendimiento de una situación problema a su solución, constituyen una serie de pasos, que pueden involucrar modelos de investigación-acción, y requerir de una simulación previa al rediseño o lanzamiento de propuestas

intervención [12]. Los aportes hechos por Bertalanffy, Weiner, Checkland, Ackoff, Vickers, Beer, Forrester, entre muchos otros, son parte del pensamiento sistémico a diferentes grados y con diferentes campos de aplicación, que por el objetivo que tienen; entendimiento de los sistemas del mundo real y solución de sus problemas, son aplicables a la presente investigación.

3.1 La Metodología de Sistemas Suaves de Checkland (MSS)

Es una metodología que tiene como objetivo introducir mejoras en áreas de interés social al activar entre la gente involucrada en la situación un ciclo de aprendizaje que idealmente no tiene fin. El aprendizaje se lleva a cabo mediante el proceso iterativo de usar conceptos de sistemas para reflexionar sobre y debatir las percepciones del mundo real, llevando a cabo acción en el mundo real, y de nuevo reflexionar sobre los sucesos que ocasionó el uso de los conceptos de sistemas. La reflexión y el debate se estructuran mediante algunos modelos sistémicos. Éstos se conciben como tipos holísticos ideales en ciertos aspectos de la situación problema, no como representaciones de ésta. Se asume como dado que no se puede proporcionar un objetivo y una representación completa de una situación problema [13].

Aún reconociendo las limitaciones que tienen aquellas representaciones que hagamos de los fenómenos del universo, Checkland plantean una metodología para acercarse al entendimiento de ellos, basada en un proceso de pensamiento sistémico que va desde la definición del sistema o problema a estudiar, pasando por su modelamiento, hasta llegar a la proposición de acciones que mejoren la situación problemática u optimicen el funcionamiento del sistema. El proceso comienza por la definición del sistema, la cual lleva consigo determinados conceptos (ver Tabla 1), que gozan de pleno sentido para los observadores de la realidad y que luego son la base para el modelamiento.

Tabla 1. Definiciones raíz a partir del CATWOE [14]

C ('costumers')	¿Quiénes son víctimas o beneficiarios con la existencia del sistema?
A ('actors')	¿Quiénes dirigen las actividades del sistema?
T ('Transformation process')	¿Qué entradas se transforman en qué salidas en el sistema?
W ('Weltanschauung')	¿Cuál es la visión del mundo que le da significado al sistema?
O ('owners')	¿Quién puede abolir el sistema o desaparecerlo?
E ('environmental constraints')	¿Qué limitaciones externas acepta el sistema como un hecho?

A partir de las definiciones encontradas se realizan los modelos conceptuales (con cualquier paradigma de pensamiento sistémico), y se encuentran en ellos las diferencias con el sistema real, lo cual a su vez brinda posibles acciones o realizar para lograr la realización de tal visión del sistema estudiado.

La MSS de Checkland es una dimensión del pensamiento de sistemas que abandona la idea de que solo existe una modelo para el logro de un objetivo. Ante la variedad de intereses y valores en una organización, esto pareciera imposible. Sin embargo, con esta metodología se abrió paso a la posibilidad de expresar diferentes puntos de vista sobre el sistema junto con los elementos y perspectivas que lo hacen posible. El propósito final es la generación de un proceso de aprendizaje sistémico en el cual

varios participantes de una situación problema expresan sus visiones y conocen las de los demás, formando consensos (así sean temporales) o acomodaciones entre aquellos que aún así pueden continuar siendo divergentes [15].

3.2 La dinámica de sistemas de Forrester

El pensamiento sistémico, la investigación de operaciones y la dinámica de sistemas tienen en común la búsqueda del entendimiento y mejoramiento de los sistemas [16]. La dinámica de sistemas, cuyo estudio inició Jay Forrester, se destaca por avanzar en esa comprensión y mejoramiento a través de modelamiento y simulación cuya premisa básica es la causalidad. De esta manera, son las causalidades (directas, indirectas y recíprocas) las que definen el comportamiento de un sistema y hacen posible su conceptualización [17].

El proceso básico de la dinámica de sistemas de Forrester (ver Figura 1), inicia con la comprensión teórica de un sistema. Luego convierte este concepto en una serie de variables y ecuaciones, cuyo comportamiento posteriormente simula en un modelo. Los siguientes pasos son la discusión y mejoramiento del modelo de sistema, para finalizar con el planteamiento y la ejecución de planes para mejorar el desempeño del sistema estudiado.

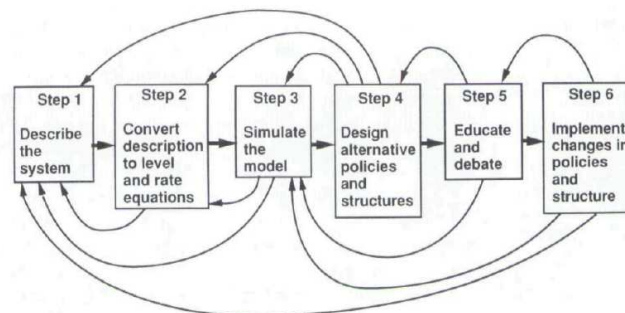


Figura 1. Proceso resumido de la dinámica de sistemas [16].

Sin duda este fue un avance muy importante en la comprensión del funcionamiento de los sistemas. Sin embargo, una de sus mayores limitaciones es que, en dinámica de sistemas, la estructura es concebida como un patrón en las relaciones entre los actores de los sistemas, sus actividades y funciones. Además, esta metodología limita el manejo de la complejidad ya que con ella se dificulta la visualización de niveles de complejidad y la recursividad sistémica que para algunos autores como Ashby y Beer, defienden como requisito para la viabilidad del sistema [18]. Es a este punto donde se hace necesaria una metodología que convierta los descubrimientos y propuestas resultantes de la dinámica de sistemas, en un modelo organizacional con estructura y funciones encaminadas a viabilizar el sistema. Esta necesidad encuentra su satisfacción en el modelo más conocido en cibernética organizacional, como lo es el Modelo de Sistema Viable de Beer. Ambas metodologías forman una poderosa sinergia para hacer modelamiento y diseño de organizaciones basados en su comprensión y simulación.

3.3 El Modelo de Sistema Viable (MSV) de Beer

La principal propuesta teórica formulada por el MSV es que una organización es viable sólo si tiene un conjunto de funciones de gestión y unas interrelaciones especificadas a nivel teórico. Para nuestro conocimiento, esta proposición es más fuerte que la de

cualquier otra teoría de diseño de la organización. La segunda propuesta es que cualquier deficiencia en este sistema, como fallas en el cumplimiento de funciones, insuficiente capacidad de las funciones o canales de comunicación, o una interacción defectuosa entre estos, pone en peligro la viabilidad organizacional. La tercera propuesta es que la viabilidad, la cohesión y la auto-organización de una empresa dependen de que tales funciones sean recursivas operativamente en todos los niveles de la misma. Una estructura recursiva comprende unidades autónomas dentro de otras unidades autónomas. Por otra parte, una organización viable se compone de unidades viables y a la vez forma parte de otras unidades viables más grandes [18].

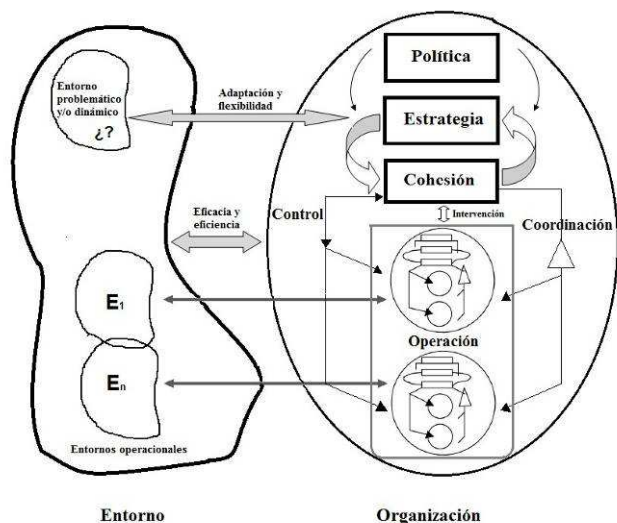


Figura 2. MSV de Beer [19].

En la Figura 2 se observa el MSV de Beer en su forma más sencilla, señalando que la viabilidad de una organización depende de la existencia de al menos cinco subsistemas estructurales en la misma: De operación, coordinación, control, estrategia y uno de política e identidad [20].

3.4 Herramientas de apoyo para el análisis sistémico de organizaciones rurales

Para descubrir el trabajo que hacen las organizaciones –trabajo informal–, que es distinto a lo que formalmente se conoce sobre ellas, se requiere un acercamiento etnográfico y unas metodologías renovadas de interacción con sus situaciones y problemas (complejas), los cuales son objeto de estudio en la teoría de organizaciones [21]. Así pues, algunas herramientas como la investigación cualitativa, la investigación participativa, la inmersión etnográfica, los grupos focales, las entrevistas, el análisis de discurso, entre otros, se perfilan como elementos esenciales en un análisis sistémico que sea incluyente e integral en cuanto a la participación de los sistemas observados y los elementos que se analicen en él respectivamente.

4. METODOLOGÍA

La investigación realizada es de tipo cualitativa, transversal y descriptiva. Estuvo dividida en las siguientes etapas: selección de las herramientas metodológicas para hacer el análisis de las organizaciones desde una perspectiva sistémica, la implementación de las herramientas para hacer modelamiento y

diseño organizacional (incluyendo la simulación con el software Vensim® PLE para Windows versión 5.7a), y finalmente el planteamiento de los escenarios de viabilidad sistémica (diseño de MSV) en los estudios de caso.

El análisis sistémico se realizó en el primer semestre de 2011 a dos estudios de caso; específicamente a dos asociaciones de agricultores en la Provincia del Tequendama (Cundinamarca, Colombia): La Asociación de Productores de Mango de El Colegio - ASPROMANCOL (Municipio de El Colegio), y la Asociación de Fruticultores de Tocaima - ASOFRUT (Municipio de Tocaima).

El proceso metodológico básico se enmarcó en el uso de dinámica de sistemas (ver Figura 1), apoyado por el uso de la MSS de Checkland y el MSV de Beer. La MSS se utilizó para la primera etapa del proceso mencionado, en la cual se requiere definir y describir el sistema a modelar. La MSV se utilizó en la parte final del proceso, cuando se requiere hacer el planteamiento de unas estructuras, políticas y decisiones para mejorar el sistema modelado. De esta forma se logró una sinergia metodológica muy valiosa para la comprensión y mejoramiento del problema de viabilidad en las organizaciones rurales colombianas.

La investigación participativa se aplicó a casi todas las etapas del desarrollo metodológico del trabajo. No obstante, fue en la definición inicial del sistema (MSS), en el ajuste de la simulación y el planteamiento del MSV en donde más se utilizó. Esto debido a que son etapas en donde la participación del sistema observado (principalmente de sus miembros o elementos básicos), es fundamental para que el modelo se ajuste a la realidad y sus propuestas finales sean más fácilmente asimiladas y aceptadas por la organización que se está interviniendo y mejorando. Además, la demografía de las comunidades rurales suele ser un impedimento para lograr realizar participativamente procesos tan complejos como el planteamiento de variables, ecuaciones, modelos matemáticos, y para hacer simulaciones por computador.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la aplicación de la metodología propuesta se obtuvieron unos resultados que incrementaron notablemente la comprensión del problema de viabilidad en las organizaciones rurales colombianas, al igual que permitió plantear un modelo viable para estos sistemas; por lo menos a nivel teórico. La presentación y análisis de estos resultados se hará usando el orden (adaptado) del proceso básico de dinámica de sistemas (ver Figura 1).

5.1 Etapa 1: la definición y descripción del sistema

Con la utilización de la MSS de Checkland se realizaron sesiones participativas en las cuales se llegó a un acuerdo en cuanto a cómo se definía a sí mismo cada estudio de caso. A este punto, se pudo conocer que, si bien estas dos organizaciones están geográficamente distanciadas y tiene una composición socio-demográfica diferente, concuerdan en cuanto a cómo visualización el sistema del que hacen parte, sus objetivos, procesos y principales problemáticas.

En la Tabla 2 se encuentran las definiciones raíz concertadas para los sistemas estudiados.

Tabla 2. Definiciones raíz concertadas en los estudios de caso

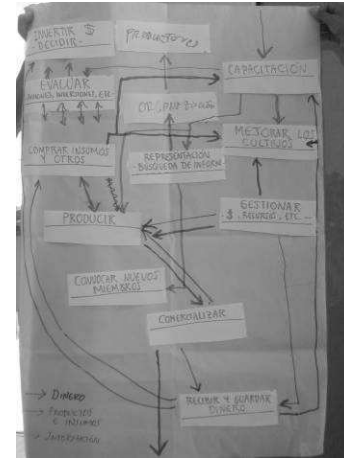
C ('costumers')	Consumidores de fruta, comercializadores, productores asociados y sus familias.
A ('actors')	Todos los miembros de la organización (25 en promedio)
T ('Transformation process')	Producción y comercialización de frutas (principalmente mango) de alta calidad, tecnificación de cultivos, representación de intereses colectivos.
W ('Weltanschauung')	La asociación es la mejor forma de obtener cosas que individualmente no se conseguirían fácilmente, y además de conseguir bienestar socio-económico para los productores agrícolas. Su éxito se basa en el mejoramiento tecnológico, la calidad, la cohesión social y el compromiso de los miembros de la misma.
O ('owners')	Los miembros de la organización, las políticas públicas y los malos precios.
E ('environmental constraints')	El cambio climático, la competencia desleal, la falta de apoyo gubernamental.

Juntando los elementos de la Tabla 2 se encontró la siguiente definición de organización rural aplicable a los dos estudios de caso:

"[Asofrut o Aspromanco] es una organización de alrededor de 25 agricultores que se encarga de producir y comercializar frutas (principalmente mango) de alta calidad mediante cultivos tecnificados, satisfaciendo con ello las necesidades de los consumidores finales de frutas, pero también aquellas de bienestar socioeconómico en los asociados y sus familias. Además, se considera a esta como el principal vehículo para lograr objetivos que individualmente son menos factibles de alcanzar. Esta organización se encuentra bajo el control de sus miembros activos, pero también de las políticas públicas que las rigen y los precios a los cuales pueden vender sus productos. También reconoce como grandes limitantes en su entorno al cambio climático, la competencia desleal en el mercado de frutas (intermediarios) y el escaso apoyo gubernamental".

Esta definición fue transformada en modelos conceptuales básicos como el observado en la Figura 3, que posteriormente fueron discutidos y unificados para que fueran la base del modelo causal a simular en etapas posteriores.

Es importante destacar que la MSS plantea un reiterativo proceso de discusión del mundo, comparación con la realidad y planteamiento de acciones que preferiblemente debería ser continuo. Sin embargo, las limitaciones de tiempo solo permitieron hacerlo una vez, llenando este 'vacío' en el uso de la metodología de Checkland, con la realización del modelo causal y su simulación, que luego puede ser complementado, modificado y comparado con otros para lograr el nivel de continuidad en el proceso de comprensión y mejoramiento de sistemas planteado por Checkland.

**Figura 3. Modelo conceptual básico de la organización Asofrut utilizando la MSS.**

5.2 Etapa 2: traducción del modelo a variables y ecuaciones

En la Tabla 3 se encuentran las variables y niveles considerados para realizar el modelo causal de viabilidad organizacional y su correspondiente simulación. Los valores constantes son resultados de revisiones documentales y la experiencia profesional del investigador. Además, son valores promedio para los dos estudios de caso. El principal supuesto es la definición de organización establecida anteriormente por medio de MSS.

Tabla 3. Variables, niveles y ecuaciones consideradas en la simulación

Tiempo $t = \text{Mes}$	Necesidades de agroquímicos $R_{aqi} = 4$	Cosecha $CO = PRO$ (Si $PRO \leq MO * R_{aqi}$) ó $CO = MO * R_{aqi}$ (Si $PRO > MO * R_{aqi}$)	Precio de fertilizantes $P_{fr} = 4.000$
Promedio de inscripciones $\bar{X}_i = 1$	Rendimiento en la aplicación de agroquímicos $Rd_{aqi} = 20$	Precio de intermediario $PR_i = 300$	Compra de fertilizantes $CO_{fr} = A * R_{fr} * P_{fr}$
Retiros $Re = 0$	Aplicación de agroquímicos $AGQ = R_{aqi} * A$ (Si $es \leq Rd_{aqi} * MO$) ó $AGQ = Rd_{aqi} * MO$ (Si $es > Rd_{aqi} * MO$)	Precio de organización $PR_o = 350$	Honorarios $H = 400.000$
Asociados $As = (\bar{X}_i * t) - Re$	Necesidades de fertilizantes $R_{fr} = 100$	Compromiso $COM = 0.4$ (Si $PR_o > PR_i$) ó $COM = 0$ (Si $PR_o \leq PR_i$)	Impuestos y otros $IM = 0$
Requerimientos de mano de obra $Rq_{mo} = 2$	Rendimiento en la aplicación de fertilizantes $Rd_{fr} = 1.000$	Venta a intermediarios $V_i = 0.4$ (Si $COM = 0$) ó $V_i = 0$ (Si $COM = 0.4$)	Gastos de administración $GA = 100.000$
Promedio de área por finca $\bar{X}_a = 1.5$	Aplicación de fertilizantes $FER = R_{fr} * A$ (Si $es \leq Rd_{fr} * MO$) ó $FER = Rd_{fr} * MO$ (Si $es > Rd_{fr} * MO$)	Clima $0 \leq CL \leq 0.2$	Egresos $EG = CO_{aqi} + CO_{fr} + GA + IM + ([MO - (As * 2)] * H)$
Otras actividades agropecuarias $\bar{X}_o = 0.5$	Rendimiento $R = 1.000$	Cuotas $CT = 5.000$	Utilidades $U = IN - EG$
Área cultivada $A = As * ((\bar{X}_a - \bar{X}_o))$	Cultivo $CU = A * R$	Aportes $AP = As * CT$	Motivación $MOT = -0.4$ (Si $U > AP$) ó $MOT = 0.4$ (Si $U \leq AP$)
Contratación $C_{mo} = Rq_{mo} * A$ (Si $es \leq 50$) ó $C_{mo} = 50$ (Si $es > 50$)	Pérdidas $P = CU * (V_i + CL + MOT)$	Ingresos $IN = AP + (CO * PR_o)$	
Deserción $D_{ao} = 0$	Producción $PRO = CU - P$	Precio de agroquímicos $P_{aqi} = 10.000$	
Mano de obra $MO = (As * 2) + C_{mo} - D_{ao}$	Rendimiento de cosecha $R_o = 4.000$	Compra de agroquímicos $CO_{aqi} = A * R_{aqi} * P_{aqi}$	

El papel de los comercializadores o intermediarios ha evidenciado e intensificado un problema en los miembros de los estudios de caso, como lo es el de falta de compromiso y cumplimiento de tareas dentro de la organización de que hacen parte. Específicamente, ante ofertas de precios de los intermediarios que superan al de aquellas que se consiguen por medio de la organización, falla la coordinación de los productores asociados, y los procesos de comercialización planeados por sus juntas directivas nunca llegan a concretarse, con el agravante de que no se tienen mecanismos de control que eviten esta situación problemática.

El efecto negativo de la falta de compromiso se sumó al efecto de la desmotivación que se da cuando las utilidades de la organización son negativas, y al efecto del clima, para estimar el nivel de pérdidas en producción. Se consideró que las pérdidas no solo son aquellas que revelan fallas o problemas en el sistema productivo, sino también las ‘fugas’ de producto que se dan cuando los asociados no venden a través de su organización. Actualmente, las mayores pérdidas en este sentido se dan por falta de compromiso y motivación, y en tercer lugar por efecto del clima. Por esta razón se determinó que de un 100% de ellas, el 40% pueden derivarse de las ventas a intermediarios por falta de compromiso y otro 40% por falta de motivación. El restante 20% son pérdidas asociadas al clima desfavorable (altas precipitaciones).

Del anterior análisis se concluyó que la como efectos del proceso de comercialización de la organización se obtienen más del 90% de los ingresos de la misma impactando directamente sobre las utilidades, que a su vez, además de crear motivación en los asociados, garantizan ciertas condiciones de bienestar en los mismo. Considerando también que las cantidades cosechadas y comercializadas son impactadas por la mano de obra disponible (factor limitante), pero principalmente del área sembrada y las pérdidas (compromiso, motivación y clima). Con este seguimiento causal, la simulación se centró en ver el impacto de dos situaciones específicas y de alta influencia en el modelo de viabilidad: el compromiso de los miembros de la organización, la motivación y el área sembrada (promedio por unidad productiva). Así pues, se realizaron las comparaciones del impacto de estos cambios sobre la producción, la cosecha y las utilidades.

5.3.3 Resultados de la simulación

La primera simulación se realizó tomando las variables y ecuaciones con los valores especificados en la Tabla 3, en donde se encuentra una situación de funcionamiento ideal (simulación ‘Inicial’ en las Figuras 5, 6 y 7) de la organización en la que las utilidades son crecientes después de superar un límite de egresos iniciales derivados de las bajas producciones, altas pérdidas (salidas de producto) por desmotivación y mantenimiento de mano de obra. El comportamiento de las utilidades, considerando que tienen un efecto acumulativo bajo el supuesto de que no se redistribuyen ganancias en cada periodo de tiempo sino que se acumulan, es positivo a partir del primer año (ver Figura 5). No obstante, cuando no existe compromiso (precios de intermediario superiores a los de la organización), el comportamiento es decreciente y negativo, de aquí la importancia de lograr un nivel de cohesión social en la organización a través del cual se pueda mantener un nivel de compromiso que no impacte negativamente sobre la misma.

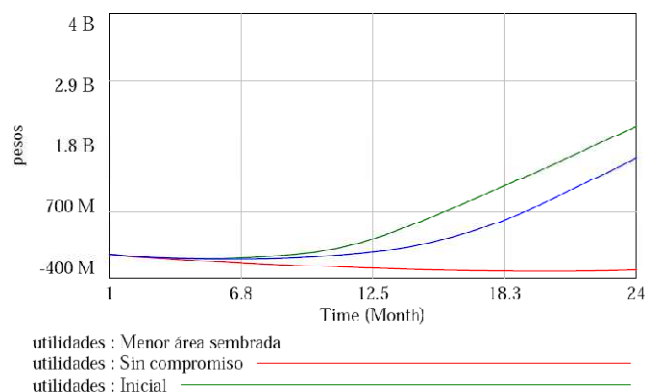


Figura 5. Crecimiento de las utilidades bajo tres escenarios diferentes de simulación

Como sería de esperarse, la disminución del área cultivada en cada unidad productiva de 1.5 hectáreas a 1 hectárea también tiene efectos negativos sobre las utilidades (ver Figura 5), además de impactar sobre la producción y cosecha (ver Figura 6 y 7).

Al realizar la simulación de los tres escenarios ya descritos (normal, sin compromiso y de menor área cultivada por unidad productiva), se encontró un fenómeno interesante a nivel de cosecha (ver Figura 6). Allí se concluyó que esta variable, además de responder proporcionalmente a la producción, tiene un comportamiento diferencial debido a la disponibilidad de mano de obra. De hecho, a partir de los 18 meses la cosecha no crece con comportamiento exponencial sino más bien aritmético. Esto se explica por la situación que se argumentó anteriormente sobre la limitante en disponibilidad de mano de obra. Cuando este factor se requiere en cantidades mayores a la disponible (contrataciones más mano de obra familiar), limita la posibilidad de cosechar más, así la producción disponible continúe en crecimiento a un mayor ritmo (Figura 7).

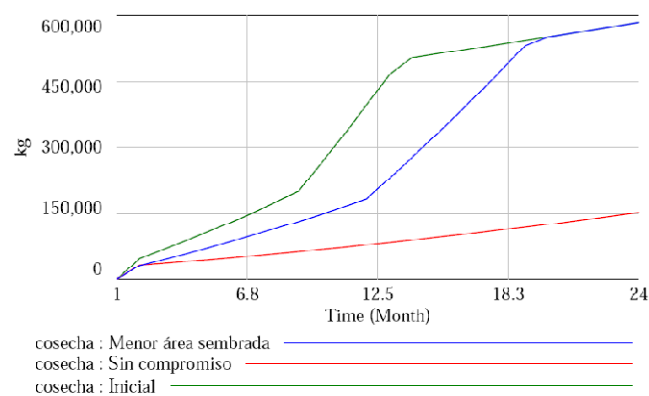


Figura 6. Crecimiento en las cantidades cosechada de fruta

El comportamiento de la producción disponible para que la organización coseche y venda es visto en la Figura 7, en donde se ve claramente que es creciente aritméticamente respondiendo negativamente a las disminuciones de área sembrada, pero mucho más a la falta de compromiso y motivación de los asociados. Esto debido a que como se explico anteriormente, un bajo compromiso y la desmotivación disminuyen hasta en un 80% las entradas de producto a la organización para que por medio de ella sean comercializados.

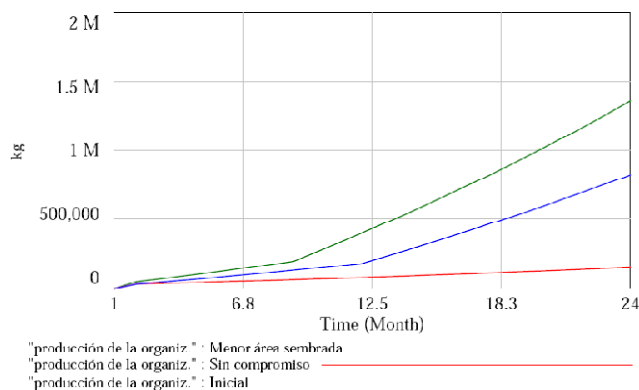


Figura 7. Crecimiento de la producción de frutas disponibles para la organización

5.4 Etapa 4, 5 y 6: formulación, discusión y ejecución de políticas y estrategias de intervención

Con los resultados obtenidos en las anteriores etapas del proceso de análisis sistémico de las organizaciones rurales estudiadas, se propuso y discutió con ellas algunas posibles alternativas de mejoramiento enmarcadas en el diseño de un Modelo de Sistema Viable (Figura 2), en donde se enfatizara en los principios fundamentales de la cibernética de Beer; la coordinación, el control, la recursividad y el manejo de la complejidad. De esta manera se propusieron unos ejes estratégicos de trabajo que son fundamentales para viabilizar de las organizaciones rurales estudiadas.

5.4.1 A nivel de entorno

La flexibilidad y adaptabilidad de la organización al entorno con el que interactúa es fundamental para que sea viable. En este sentido existen tres factores o variables de gran importancia en este momento. Primero, la mano de obra cuyo uso, considerando que es recurso escaso, debe ser más eficiente por medio de mejoras tecnológicas, logísticas y de capacitación. En segundo lugar, el clima con sus efectos negativos sobre las pérdidas. Si bien este factor es inmodificable, se puede atenuar su efecto por medio del mejoramiento tecnológico de los cultivos que hasta el día de hoy ha tenido poco impacto. Finalmente, en la parte comercial, la búsqueda de alianzas comerciales y su mantenimiento son de vital importancia con el fin de mantener unos precios que incentiven el compromiso y unas utilidades que motiven a los asociados. Esto bajo el supuesto que el compromiso solo se logra por la vía financiera.

5.4.2 Coordinación

Se encontró que existen grandes fallas en los casos de estudio en los procesos de planeación y ejecución de actividades. La principal causa de esto es un debilitamiento de la parte directiva de tales organizaciones. Las estrategias para manejar esto se deben centrar en la formulación de planes a corto, mediano y largo plazo con ayuda de profesionales externos que estén en capacidad de ayudar en su diseño, pero también de formular conjuntamente unos mecanismos para el control de su cumplimiento como bases de una cohesión estructural en el sistema. El sistema viable de Beer establece que una instrucción hacia los subsistemas productivos debe ir acompañada de su respectivo sistema de control [23]. Debido a que existen

problemas socio-culturales en estas asociaciones [24] que no facilitan el diseño de estos pares cohesionadores, se propone que la intervención externa, sea por políticas públicas o privadas, debería llenar estos vacíos inicialmente, en tanto que la organización adapta sus propios mecanismos para mantener tal cohesión en el tiempo.

5.4.3 Control

En un sistema viable, el uso de efectivos canales de comunicación entre subsistemas y metasistemas es la herramienta principal de control en la organización y a su vez se constituye en prerrequisito para su viabilidad [25]. En las organizaciones rurales es común notar la ausencia de mecanismo de control, desde los más básicos como el diseño y uso de registros y actas, hasta la inexistencia de formas para que el incumplimiento de metas u obligaciones en los subsistemas de operación (producción) tenga consecuencias y se logre así una retroalimentación. Avanzar en la creación de estos mecanismos básicos de control (indicadores, registros y formas de retroalimentación) es un requisito fundamental en la viabilización de organizaciones rurales. Como se observó en la simulación, la falta de compromiso y mecanismos para mantenerlo en una organización tiene un efecto sumamente negativo sobre la realización de su visión y por lo tanto sobre su viabilidad.

5.4.4 Manejo de la complejidad

Al igual que la organización rural es compleja por su alta variabilidad, lo es también el ambiente que la rodea. La diferencia suele estar en la magnitud que diferencie ambas complejidades. En medida que una organización sea más compleja y expanda sus límites en el entorno, podrá afrontar con mayor éxito los desafíos que este le imponga [26]. Debido a que la complejidad es inherente a las organizaciones, en su manejo se puede optar por dos alternativas; controlarla o incrementarla, esto bajo la premisa de no disminuirla cumpliendo el *la ley de requisito mínimo de variedad de Ashby*, que establece que la complejidad (del entorno en este caso) solo se destruye con más complejidad (en la organización) [27]. Poniendo del hecho que el entorno es altamente complejo y que por lo tanto la organización debe fomentar la creación de complejidad interna, existen alternativas prácticas para lograr esto por medio de la incorporación de nuevos detalles a la misma, tales como nuevos mercados, nuevos productos, nuevas cualidades del producto, etc. [28].

La recursividad y la redundancia de funciones también son alternativas para el manejo de la complejidad. Una posibilidad práctica para lograr esto en las organizaciones rurales es por medio de la capacitación de sus miembros para que las unidades productivas que manejan (que componen la función operativa del MSV) funciones como sistemas viables con sus propios mecanismos de coordinación, control, comunicación, planeación, etc. También, se podría incentivar la rotación de asociados por las diferentes funciones o cargos de la organización para que se incremente la redundancia de funciones y la capacidad de respuesta ante cambios inesperados en el entorno.

5.4.5 Función de operación

Ya se propuso a nivel del subsistema de operación en un sistema viable, que debía estar coordinado y controlado, además de funcionar como un sistema viable independiente (recursivo). Sin embargo, su productividad y manejo propio también debe ser objeto de mejoramiento. En términos prácticos, las organizaciones estudiadas localizadas en el Departamento de Cundinamarca (Colombia), tienen unos de los rendimientos más bajos a nivel

nacional, los cuales son del orden de 5 toneladas/hectárea, mientras que el promedio nacional es de 13 toneladas/hectárea [29]. Las causas de esta situación son principalmente el manejo técnico de los cultivos, el deficiente uso de insumos y las bajas densidades de siembra.

Teniendo en cuenta que el sistema de producción es parte fundamental del modelo de viabilidad de las organizaciones rurales, se hace indispensable su mejoramiento asistido por profesionales del área, y con esfuerzo de inversión pública en aspectos de investigación y desarrollo de tecnologías adaptadas a las condiciones propias de estos sistemas. Si bien las unidades de asistencia locales brindan en la mayoría de los casos asesorías técnicas a los productores, persisten deficiencias en el mejoramiento genético, el manejo de la fertilidad de los suelos y el control de plagas, cosecha, manejo poscosecha, etc.

6. CONCLUSIONES

La viabilidad de las organizaciones rurales encuentra retos a nivel interno y externo, cuyo análisis y modelación son indispensables como paso previo a la formulación de mecanismos y estrategias de intervención que permitan viabilizar tales sistemas socio-técnicos.

Por medio del modelo causal se analizó el funcionamiento actual del sistema en el que se están moviendo los casos de estudio, y se determinaron los puntos críticos que amenazan la viabilidad de tales organizaciones. Estos factores de alto impacto se pueden encontrar en todo el país, por lo cual se pueden tomar como limitantes para la viabilidad organizacional en los emprendimientos colectivos rurales de Colombia que se realizan alrededor de temas agrícolas con fines de mejoramiento en los procesos de comercialización.

Las organizaciones rurales que comparten una visión de viabilidad relacionada con la comercialización de productos agrícolas como fuente de ingresos para mejorar las condiciones socio-económicas de sus miembros, están principalmente limitadas en el entorno por la disponibilidad de mano de obra, el clima y los precios de venta, y a nivel interno por la eficiencia de sus sistemas productivos, y por la motivación y el compromiso de los individuos que las componen.

El uso de la Dinámica de Sistemas de Forrester conjuntamente con la Metodología de Sistemas Suaves de Checkland y el Modelo de Sistema Viable de Beer, demostraron ser metodologías de análisis sistémico que actúan sinérgicamente, y cuyos métodos específicos permiten realizar un entendimiento y modelación de las organizaciones rurales en Colombia con el propósito de proponer estrategias para su viabilización.

El modelo de sistema viable propuesto para que las organizaciones rurales sean viables en el marco de las relaciones causales que las rigen y su entorno, implica cambios profundos a nivel de mecanismos de comunicación, coordinación y control. Pero también en la parte de construcción de procesos compartidos en donde los intereses generales primen sobre los particulares.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Machado, A. *El papel de las organizaciones en el desarrollo rural*. En *Memorias Seminario Internacional La Nueva Ruralidad en América Latina* (Bogotá, Colombia, 22-24 de agosto, 2000). Universidad Javeriana, Bogotá, 2000.
- [2] FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Informe sobre el desarrollo mundial 2008: Agricultura para el desarrollo*. Banco Mundial, Bogotá, 2008.
- [3] Marion, R. & Bacon, J. Organizational extinction and complex systems. *Emergence*, 1, 4 (1999), 71-96.
- [4] Argyris, C. *El individuo dentro de la organización*. Editorial Herder, Barcelona, España, 1979.
- [5] Bertalanffy, L. V. *Teoría general de los sistemas*. Editorial Fondo de la Cultura Económica, México D. F., 1976.
- [6] Beltrán, J. M. *Indicadores de gestión: Herramientas para lograr la competitividad*. Panamericana Editorial Ltda, Tercera Edición, Bogotá, 2008.
- [7] Coromoto, I. El paradigma de la complejidad en la investigación social. *Educere* 8, 24 (2004), 22-25.
- [8] Morin, E. *Introducción al pensamiento complejo*. Editorial Gedisa, Barcelona, España, 1998.
- [9] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. *Estudios de caso en comercialización de pequeños productores rurales*. IICA, Bogotá, 2009.
- [10] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. *Cadenas Productivas: informe de gestión*. SAS Industria Gráfica. Bogotá, 2010.
- [11] Departamento Nacional de Planeación. *Visión Colombia II centenario: 2019*. Editorial Planeta, Bogotá, 2005.
- [12] Forrester, J. System dynamics, system thinking and soft OR. *System Dynamics Review*, 10, 2-3 (1994), 245-256.
- [13] Checkland, P. & Scholes, J. *La metodología de los sistemas suaves de acción*. Megabyte Noriega Editores, México D. F., 1994.
- [14] Checkland, P. Optimizing to learning: A development of systems thinking for the 1990s. *The Journal of the Operational Research Society*, 36, 9 (1985), 757-767.
- [15] Jackson, M. C. Beyond the Fads: Systems Thinking for Managers. *Systems Research*, 12, 1 (1995), 25-42.
- [16] Forrester, J. System dynamics, system thinking and soft OR. *System Dynamics Review*, 10, 2-3 (1994), 245-256.
- [17] Forrester, J. W. *Principles of Systems*. Productivity Press, Noruega, 1971.
- [18] Schwaninger, M & Pérez, J. System dynamics and cybernetics: A synergetic pair. *System Dynamics Review*, 24, 2 (2008), 145-174.
- [19] Espejo, R. The footprint of complexity: the embodiment of social systems. *Kybernetes*, 33, 3-4 (2004), 671-700.
- [20] Beer, S. *Diagnosing the system for organizations*. John Wiley, Chichester, 2003.
- [21] Schön, D. A. Can research reinvent the corporation. *Harvard Business Review*, 69, 2 (1991), 164-175.
- [22] Morin, E. *El método I*. Ediciones Cátedra S.A., Madrid, España, 2006.

- [23] Martínez, M. E. *Ideas para el cambio y el aprendizaje en la organización: Una perspectiva sistémica*. Ecoe Ediciones, Segunda Edición, Bogotá, 2005.
- [24] Rivera, E. *Caracterización sociológica de cinco núcleos de agricultores emprendedores de Cundinamarca*. Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2008.
- [25] Espejo, R. y A. Gill. *The Viable System Model as a framework for understanding organizations*. En: www.phrontis.com. 1997.
- [26] Tang, Z. (2009). The Application of the Dimensionality Perspective in Organization Study. *E:CO*, 11, 1 (2009), 58-68.
- [27] Ashby, W. R. *Introducción a la cibernética*. Ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, Argentina, 1960.
- [28] Navarro, J. Gestión de organizaciones: gestión del caos. *Dirección y organización*, 23, 136-145 (2000).
- [29] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Corporación Colombia Internacional. *Encuesta nacional agropecuaria 2009*. 2010.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Evaluación dinámica de factores de diferenciación en un mercado de fotocopias

Jennifer Hincapié
Cifuentes

Universidad del Valle
Ingeniera Industrial
(57)(2) 3212167 Ext 117

jenniferhc2@hotmail.co m

Guillermo Salinas
López

Universidad del Valle
Ingeniero Industrial
(57)(2) 2877004

ail.com

Anthony Victoria
Moreno

Universidad del Valle
Ingeniero Industrial
(57)(2) 6690061

l.com

Juan Carlos Osorio
Gómez

Universidad del Valle
Profesor Asociado
(57)(2) 3212167 Ext 117

alle.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se evalúa una fotocopidora de un sector específico del mercado de copias de la ciudad de Santiago de Cali con relación a sus competidores, con el fin de determinar aquellos factores que inciden principalmente en las ventas pertenecientes al sector, y con esto se establecerá finalmente el comportamiento de la participación en el mercado de los locales anteriormente mencionados. Para abordar el planteamiento anteriormente descrito se desarrolla como alternativa un modelo empleando dinámica de sistemas, que refleja de manera integrada como a causa del precio y el tiempo de atención por cada copia, los clientes deciden irse hacia una fotocopidora u otra.

Palabras Clave

Dinámica de sistemas, Simulación, Modelación, Mercados

Keywords

Sytem dynamics, Simulation, Models, Market.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de las empresas de ser competitivas en un entorno que cada vez cambia con mayor rapidez, ha llevado a las organizaciones a buscar herramientas que les permitan anticiparse a esos cambios, de modo que cuenten con mayor comprensión del mercado y mayor certeza frente a sus decisiones, logrando mantenerse en el mercado de forma sólida y exitosa. Para suplir esta necesidad, han surgido técnicas como la dinámica de

sistemas, que permite evaluar el comportamiento de un sistema de cualquier tipo, mediante su comprensión como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí [1], [2], [3] y [4]. Además, con esta técnica es posible simular potenciales escenarios para identificar cómo se comportaría el sistema, y establecer que decisiones tomar al respecto para mitigar pérdidas o incrementar ganancias.

En este artículo se presenta un caso de estudio conformado por un mercado de copias de la ciudad de Santiago de Cali, en donde se identifican sus componentes y relaciones, para representarlo de forma gráfica y simularlo tanto con sus parámetros actuales, como con propuestas alternas frente a factores de diferenciación del sector, que permitan definir su desempeño y un campo de acción para posibles mejoras.

Si bien en la literatura no aparecen casos similares, si se encuentran trabajos en los cuales se utiliza la dinámica de sistemas para la definición de estrategias de mercadeo, entre ellos se pueden mencionar [5] y [6].

Este caso de estudio está basado en un mercado dinámico de competencia basado en precio variable y tiempo de atención, en el cual los compradores se ven enfrentados a la decisión de sopesar estas variables cada vez que requieren del servicio nombrado, reflejándose en una variación de la participación del mercado del establecimiento estudiado. Por lo anterior, se presenta el estudio del sistema, de forma que se comprenda en mayor medida su comportamiento y se logre reducir la variación nombrada, con el objetivo de lograr mayores ventas para el negocio.

2. DESCRIPCIÓN DEL CASO

Alrededores a una Universidad en Santiago de Cali, se encuentran ubicados una serie de negocios de fotocopias e impresiones con precios muy bajos, estos precios varían de local a local al igual que lo hace su atención al cliente, su capacidad y por ende su participación en aquel mercado.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Para el presente estudio se ha decidido tomar como referencia aquella fotocopidora cuya demanda fuese la más alta, ya que este factor determina en gran medida la capacidad disponible del establecimiento en un horizonte de tiempo dado, bajo unas condiciones de precio y nivel de servicio (copias sacadas satisfactoriamente) que más adelante serán analizadas con detalle.

La fotocopidora de referencia maneja una tarifa de 20 pesos por copia, mientras que las demás oscilan entre los 24 y 28 pesos por copia, esto hace que en determinadas ocasiones los clientes prefieran sacar copias en la primera.

Sin embargo, esta situación continúa hasta que los clientes empiezan percibir que su tiempo de espera aumenta y la atención disminuye, situación en la cual, el precio pasa a segunda instancia y los clientes migran hacia cualquiera de las otras fotocopadoras. Mientras esto ocurre, se van evacuando órdenes y poco a poco recupera la capacidad de atender nuevos clientes, éstos comienzan de nuevo a acercarse al local. Todo lo anterior se repite constantemente en un ciclo, o por lo menos esto es lo que se espera que pase.

En este sentido sería pertinente estudiar el comportamiento de la capacidad disponible del establecimiento tomado como referencia y definir hasta qué punto éste será capaz de satisfacer la demanda con la capacidad instalada inicialmente, en qué momento sería necesario aumentar esta última y como se vería afectado el comportamiento del sistema y sus variables al hacer cambios en esta; además de determinar si estas variaciones inciden directamente en su participación en el mercado y si esta puede llegar a estabilizarse en algún valor con el paso del tiempo.

Es importante mencionar aquí, la política de precios acogida por el sector, ya que ésta tiene gran incidencia en las ventas de cada negocio y por ende en su participación en el mercado; por parte del establecimiento tomado como referencia, consiste en siempre establecer el precio más bajo en el sector, basados claro en el precio de sus competidores por un lado y por otro en la percepción que tenga el negocio de la participación en las ventas por parte de la competencia, en este sentido bajará su precio cuando perciba que sus competidores aumentan su participación en el mercado, o viceversa, pero siempre manteniendo el precio más bajo en el mercado.

Puede que la estrategia de fijación de precios por debajo del nivel competitivo, consiga inicialmente traer efectos positivos en cuanto a la iniciativa de compra por parte de los clientes y por ende la demanda atendida, pero esto a largo plazo puede traer repercusiones ligadas a la capacidad instalada que se convertirán en demanda no atendida.

Esto se ve reflejado en el comportamiento que sigue el sistema, pues cuando la fotocopidora que maneja la tarifa más baja se ve saturada de órdenes y disminuye su calidad de atención, los clientes migran hacia las otras en busca de una mejor atención a pesar de pagar un poco más por ella.

3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

El sistema se estudiará teniendo en cuenta tres componentes generales: la fotocopidora que se tomará como referencia y será la que se analizará, por otra parte, se tomarán el resto de fotocopadoras como un solo grupo que se denominará la competencia, y como tercer grupo se denominará al mercado o demanda de copias.

Este sistema interactúa diariamente, iniciando con la apertura de los locales, momento en el cual las fotocopadoras observan el precio por copia de los otros locales, principalmente el tomado como referencia, y establecen sus propios precios. Esta determinación de precios también depende de la percepción de la participación en el mercado de cada local, ya que cuando se percibe que se está reduciendo los locales toman la decisión de disminuir sus precios.

A partir de esta fijación de precios inicia la prestación del servicio, donde los clientes se acercan a los establecimientos para sacar copias, principalmente movidos por la economía por volumen de hojas.

A continuación se presenta el sistema y las relaciones entre sus elementos, mediante un diagrama causal y uno de forrester.

3.1 Diagrama Causal

Para representar inicialmente el sistema caso de estudio se ha decidido realizar un diagrama causal (ver figura 1) que se describirá a continuación:

En el primer y bucle más grande del diagrama, se empieza con las solicitudes de copias que están ligadas a la fotocopidora centro de estudio, este elemento hace que su aumento incrementen de igual manera las ventas en la fotocopidora, esto a su vez hace que haya un mayor porcentaje de utilización ya que habrá más copias por sacar con la misma capacidad instalada, esto aumenta el tiempo de atención lo que provoca que se saquen menos copias satisfactorias ya que el tiempo con el que cuentan los trabajadores no será suficiente para atender toda la demanda.

El segundo bucle más grande pertenece a la competencia, y empieza igual que el anterior bucle con las solicitudes de copias de la fotocopidora de estudio que con su aumento hacen que haya menos ventas en la competencia.

El tercer y último bucle está estrictamente ligado a la política de fijación de precios de la fotocopidora de estudio, que consiste en siempre tener un precio menor que el de la competencia y esto junto con el tiempo de atención explicado anteriormente y perteneciente al bucle principal, hará que se entreguen más o menos copias satisfactorias; en la medida en que el precio esté por debajo del de la competencia se sacarán más copias satisfactorias y viceversa.

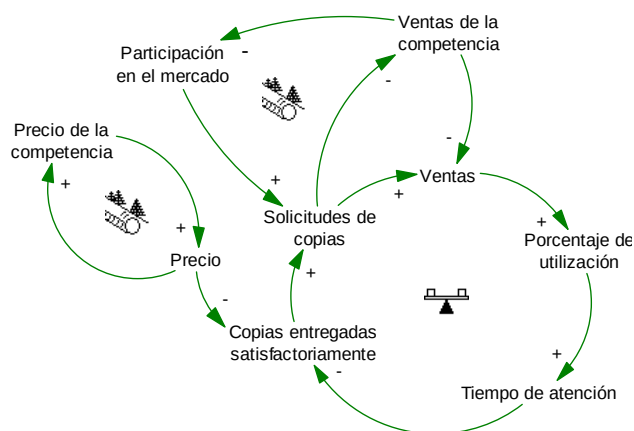


Figura 1. Diagrama causal del sistema caso de estudio.

3.2 Diagrama de Forrester

Con base en el diagrama causal presentado, se procede a elaborar el diagrama de Forrester que represente lo más similar posible el sistema estudiado, teniendo en cuenta que se desea analizar el desempeño de las ventas de la fotocopiadora estudiada y de los factores diferenciadores de este tipo de mercados. Para este fin, se definieron los siguientes elementos:

Demanda: Con base en las ventas promedio diarias proporcionada por los negocios, que a diario suelen vender entre 10.000 y 14.000 copias. Por lo anterior, se establece la demanda como un valor aleatorio entre estos valores.

Crecimiento de la demanda: Con el objetivo de simular un mercado que tenga en cuenta la dinámica del entorno, se supone un crecimiento anual de la demanda del 5% de la demanda mínima.

Mercado de copias: Representa la cantidad total de demanda de copias del mercado, teniendo en cuenta la demanda inicial y el crecimiento de la demanda establecido, en todos los años de simulación.

Copias demandadas: Es un nivel que almacena la cantidad de copias que solicita el mercado, representado como el mercado de copias menos las copias demandadas por la empresa y por la competencia.

Solicitud de copias: Representa la cantidad de copias, del total de copias demandadas, que es atendido por la fotocopiadora estudiada. Este flujo se encuentra afectado por el nivel de servicio ofrecido. De esta forma, los valores asignados a solicitud de copias, se establecen de acuerdo a rangos de nivel de servicio, donde cada uno de ellos establece un valor aleatorio entre otro rango de participación en el mercado.

Copias por sacar: Indica las copias solicitadas a la fotocopiadora, que se encuentran en proceso de ser elaboradas. Su valor corresponde a las solicitudes de copias menos las copias despachadas.

Porcentaje de utilización: Esta variable indica que tanto se está empleando la capacidad disponible de la fotocopiadora, y se calcula como las copias por sacar dividido la capacidad instalada.

Capacidad instalada: Establece cual es la capacidad disponible de la fotocopiadora, con un valor de 17.000 copias diarias, determinado con base en el número horas diarias que laboran y el número de fotocopiadoras existentes.

Tiempo por copia: Esta variable indica el tiempo estándar que debería demorarse la elaboración de una copia, que es de 0,254 segundos.

Tiempo de atención: Indica el tiempo que se emplea realmente para la elaboración de las copias, que depende del tiempo por copia y del porcentaje de utilización, de acuerdo a la relación $\text{Tiempo por copia} \times \text{Porcentaje de utilización}$.

Nivel de servicio: Establece que tan satisfechos quedaron los clientes después de ser emplear los servicios de la fotocopiadora estudiada, y se determina con base en la relación $\text{Precio} / \text{Tiempo de atención}$. Para esta variable de determinó un valor mínimo de 40% y un valor máximo de 100%.

Tiempo laboral: Indica el tiempo total diario que labora la fotocopiadora, el cual es de 12 horas, que representa 0,5 días.

Copias despachadas: Este flujo determina a qué velocidad se está atendiendo a los clientes, calculado a partir del valor mínimo entre $\text{Tiempo laboral} / \text{Tiempo de atención}$ y Copias por sacar.

Ventas propias: Este nivel indica el número de copias elaboradas por la fotocopiadora estudiada.

Copias sacadas por la competencia: Indica la cantidad de copias, del total de copias demandadas, que es atendido por la competencia. Se determina como el total de Copias demandadas menos las Ventas propias.

Ventas de la competencia: Establece el número de copias elaboradas por la competencia, y tiene el mismo valor del flujo Copias sacadas por la competencia.

Participación en el mercado: Muestra que porcentaje del mercado de copias está siendo atendido por el establecimiento estudiado.

Límite del precio: Es el valor mínimo que se puede cobrar por la prestación del servicio, donde se incluyen los costos en los que se incurren y la ganancia mínima exigida por los propietarios de los establecimientos.

Precio de la competencia: Es el valor que determina la competencia para cobrar por el uso de sus servicios, establecido como un valor aleatorio entre el límite del precio+1 y 28, ya que estos son los valores entre los que se suele encontrar el precio de la competencia.

Precio: Esta variable presenta el valor que cancelan los clientes por utilizar el servicio de fotocopiadora del establecimiento, calculado como el valor máximo entre el Precio de la competencia-1 y el Límite del precio+1, si la Participación en el mercado es mayor o igual a 0,85; o el máximo entre Precio de la competencia-2 y el Límite del precio+1, en caso contrario.

A continuación se presenta el diagrama de Forrester elaborado, en el cual se incluyen los elementos anteriormente descritos y se muestran sus relaciones

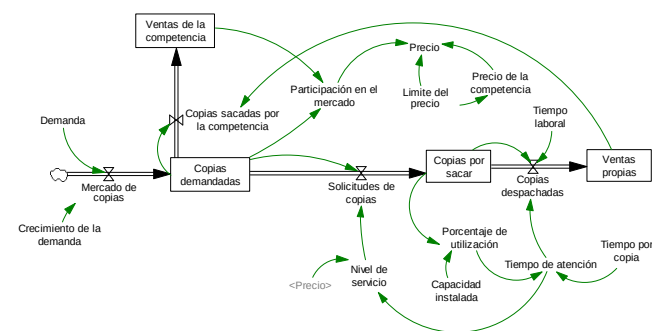


Figura 2. Diagrama de Forrester del sistema caso de estudio.

4. SIMULACIÓN DEL CASO BASE

Una vez desarrollado el modelo que representaba la situación problema del caso, planteado las respectivas ecuaciones que reflejan el comportamiento del sistema, e introduciendo una serie de datos que corresponden a la realidad y otros deducidos y ajustados por los investigadores, se procedió a la simulación del modelo en el software Vensim® PLE, el cual arroja los siguientes

resultados para un conjunto de elementos que se analizarán a continuación.

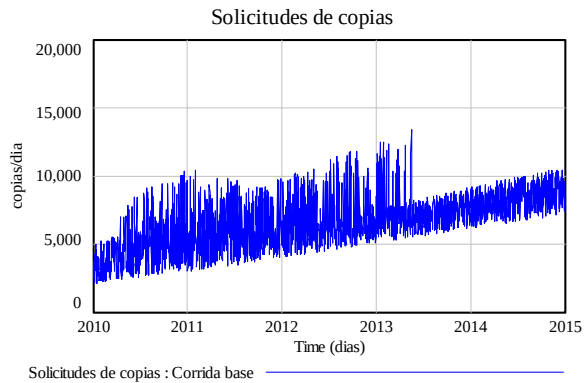


Figura 3. Comportamiento de las solicitudes de copias.

Las solicitudes de copias que tiene el local de referencia se comportan de manera creciente y presenta una variación bastante acentuada en los primeros tres años como se observa en la figura 3., sin embargo esta tiende a disminuir en los años siguientes debido a una disminución de las ventas de la competencia, razón que se explicará adelante con más detalle.

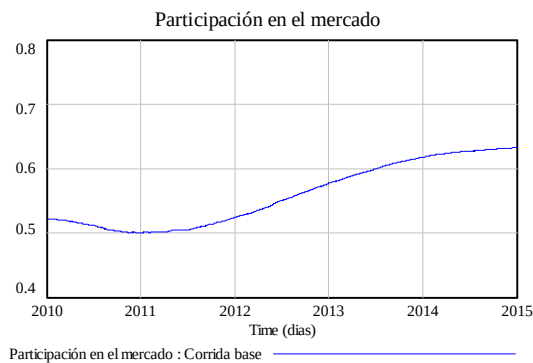


Figura 4. Comportamiento de la variable participación en el mercado.

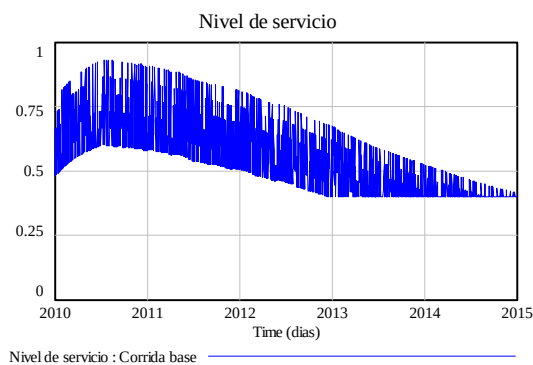


Figura 5. Comportamiento de la variable Nivel de servicio

Las Figuras 4 y 5, muestran como al principio por la carga inicial que tiene el local la participación es un poco baja al igual que su nivel de servicio, pero a medida que se va evacuando la carga, a una tasa mayor a la de entrada, éste comienza a incrementar los dos indicadores anteriormente mencionado, obteniendo así una buena participación de las ventas lo cual en los años posteriores al

2013 se ve reflejado en una disminución y estabilización del nivel de servicio, al apoderarse de gran parte de los clientes, sacrificando principalmente el tiempo de atención al tener un mayor porcentaje de utilización de los equipos o capacidad instalada, como se puede apreciar en las figuras 6 y 7.

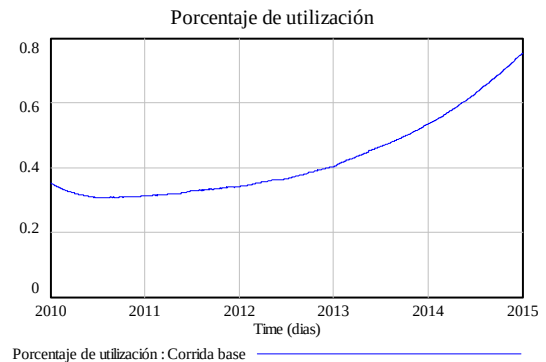


Figura 6. Comportamiento de la variable participación en el mercado.

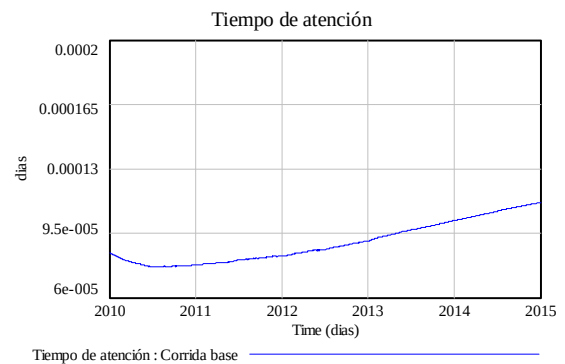


Figura 7. Comportamiento de la variable Tiempo de Atención.

De lo anterior se puede concluir que a largo plazo la fotocopidora de referencia obtiene mejores beneficios que las demás debido a su capacidad instalada que le permite manejar bajos márgenes para obtener mayor rotación. Sin embargo, con el tiempo la calidad de la atención irá en detrimento.

5. PLANTEAMIENTO DE POLÍTICAS

Con el objetivo de identificar diversos comportamientos que podrían ser consecuencia de estrategias implementadas por el local objeto de estudio, se establecen un conjunto de políticas en aquellos factores que tienen mayor incidencia en la decisión de los clientes de utilizar los servicios del establecimiento. A continuación se describen estas políticas:

5.1 Fijación de precio constante

En esta estrategia se modificará la política de establecer el precio por debajo del que tiene la competencia, sustituyéndola por una que maneje un precio constante. Lo anterior con el fin de que la percepción del cliente con respecto a este factor sea fija y tengan más certeza en su presupuesto, además de facilitar los procesos de contabilidad llevados a cabo en el establecimiento. Por tanto, se establecen los precios fijos de 22, 23 y 24 pesos, y se observará el comportamiento del sistema con cada uno de ellos.

En las figuras 8 y 9, se observa que al largo plazo sucede lo que se intuía que sucedería, pues las ventas aumentan a medida que el precio es más bajo, y el nivel de servicio al ser mas bajo el precio, contribuye a que en un principio los clientes estén más a gusto.

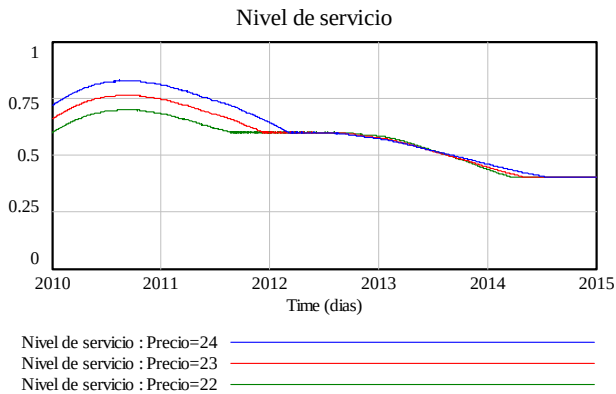


Figura 8. Nivel de servicio para la política de fijación de precio constante.

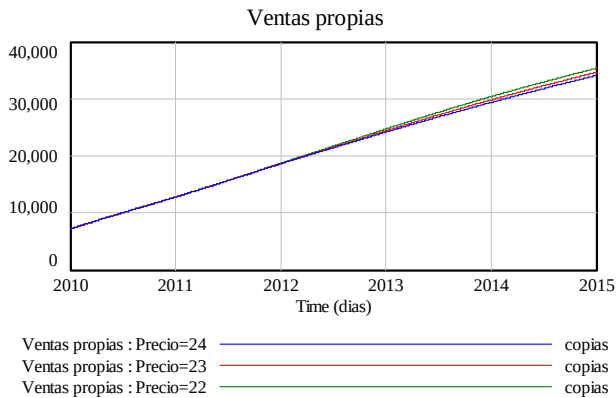


Figura 9. Ventas propias para la política de fijación de precio constante.

5.2 Modificación de la capacidad instalada

Para esta política se busca observar el comportamiento del sistema, realizando una modificación de la capacidad de manera positiva y negativa, para analizar cómo se afectan la participación en el mercado y las ventas propias y de la competencia. En esta política se tiene en cuenta que un aumento o reducción de la capacidad implica un costo adicional o una reducción del mismo, respectivamente.

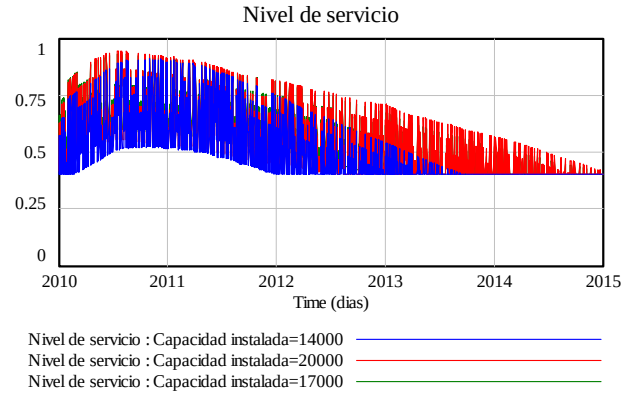


Figura 10. Nivel de servicio para la política de modificación de la capacidad instalada.

El nivel de servicio, como se ve en la figura 10, alcanza picos más altos, muy cercanos a uno, cuando la capacidad está en las veinte mil copias por días, pues presenta una mayor holgura, con una menor capacidad presenta un mejor comportamiento al principio pues al ser menores los costos, permite que los clientes estén satisfechos con un menor precio, pero al largo plazo este cae más pronto hasta el nivel de servicio más bajo que permite el local.

Como se puede observar en la figura 11, la competencia también presenta cambios significativos al modificarse la capacidad del local, siendo más sensible ésta a una disminución de la capacidad con lo cual la participación de mercado también disminuye en gran proporción como se ve en la figura 12, y alcanza valores superiores al 60% (la participación promedio actual) cuando aumenta su capacidad.

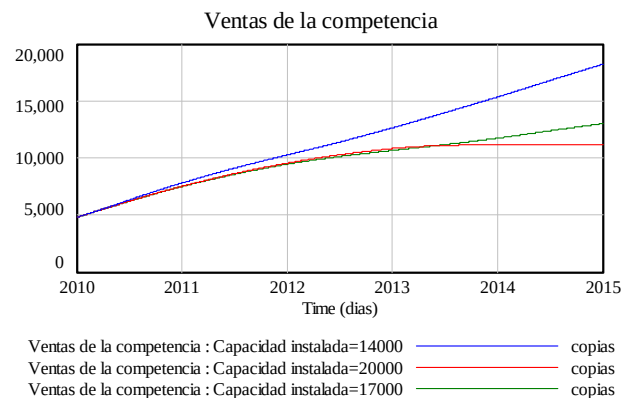


Figura 11. Ventas de la competencia para la política de modificación de la capacidad instalada.

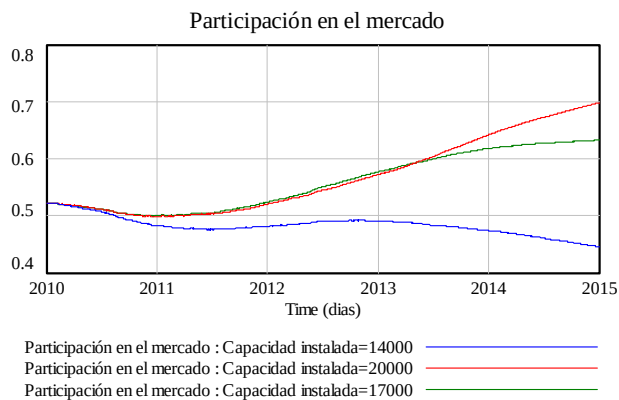


Figura 12. Participación en el mercado para la política de modificación de la capacidad instalada.

6. CONCLUSIONES

Algunos bienes que por lo general se diferencian muy poco desde el punto de vista físico o de calidad, como en el caso de las copias, presentan un comportamiento estable en cuanto a precios en el mercado, sin embargo, en un ambiente donde existen múltiples negocios dedicados a lo mismo, se puede presentar un fenómeno de competencia en el cual los bienes, entendidos ahora como el producto físico y el servicio al adquirirlo, obtienen otra connotación, en el caso que se estudió se pudo observar como uno de los locales prevaleció sobre los demás en el largo plazo, diferenciándose en cuanto a costo pero presentado problemas en la atención.

Herramientas como la dinámica de sistemas permiten lograr una mayor comprensión de las organizaciones, permitiendo una visión más clara y toma de decisiones con mayores fundamentos, al tiempo que la simulación dinámica reduce la incertidumbre frente a posibles reacciones de los sistemas que son sometidos a modificaciones en los mismos, generando una ventaja en aquellas compañías que empleen de forma adecuada, razonable y consecuente este tipo de técnicas.

Se identificó que el cambio de una variable en la misma cantidad, pero en sentido contrario, no siempre genera las mismas consecuencias o en igual proporción en el sistema, tal como se presentó en la política de modificación de la capacidad instalada. Lo anterior indica que es necesario realizar estudios completos que permitan predecir en mayor medida, las consecuencias que puede desencadenar la ejecución de un cambio en el sistema, de forma que se obtenga el resultado deseado.

Variables cualitativas como la percepción del cliente hacia la fotocopidora de estudio y su satisfacción ligada al precio y al tiempo de atención, son elementos bastante importantes para la comprensión del sistema analizado y todas aquellas conclusiones e hipótesis que son producto del desarrollo del mismo; involucrar estos elementos dentro del planteamiento propuesto fue posible gracias a la herramienta dinámica de sistemas.

La modelación y la simulación logradas a partir de la herramienta usada para el desarrollo del presente trabajo han logrado de manera muy clara representar y mostrar el comportamiento del sistema en un horizonte de tiempo establecido, lo que sirve de base a partir de los resultados que se presentan, para implementar políticas que vayan a favor de los objetivos propuestos a corto, mediano y largo plazo, en este caso por la fotocopidora de estudio.

El modelo a pesar de no tener en cuenta algunos elementos, logra representar bien el problema y el comportamiento del sistema como se esperaba. Sin embargo, sería interesante poder analizar la problemática teniendo en cuenta otros elementos de carácter financiero, que le agregaran al estudio otra perspectiva de análisis en cuanto a sostenibilidad de la situación anteriormente planteada, ya que el problema es en esencia uno económico, de competencia en un mismo espacio. El enfoque aquí dado se orientó más hacia elementos de carácter operativos y de mercadeo, que son también de gran importancia.

7. REFERENCIAS

- [1] Martínez, Silvio y Requena, Alberto. *Simulación dinámica por ordenador*. Alianza Editorial, Madrid, 1988.
- [2] Forrester, Jay W. *Dinámica industrial*. Editorial Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- [3] Aracil, Javier y Gordillo, Francisco. *Dinámica de sistemas*. Alianza Editorial, Madrid, 1997.1
- [4] Aracil, Javier. *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Alianza Editorial, Madrid, 1992.
- [5] Otto Peter. *A systems dynamics model as a decision aid in evaluating and communicating complex market entry strategies*. Journal of Business Research, Vol 61, No 11, Noviembre 2008 pp 1173 - 1181.
- [6] Berendes P. A. J, A. G.L Romme. *Cyclicalities of capital-intensive industries: a systems dynamics simulation study of the paper industry*. Omega, Vol 29, No 6. Diciembre 2001, pp 543 - 552

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Aproximación a la Problemática del Sistema Nacional de Salud en Colombia a Través de un Ejemplo

Ivan Alfredo Mendoza

Universidad del Rosario

Facultad de Administración

(571) 2970200 ext 7801

ivan.mendoza@urosario.edu.co

Sandra Milena Bolívar

Universidad del Rosario

Facultad de Administración

(571) 2970200 ext 7801

cosandra.bolivar@urosario.edu.co

Luis Carlos Rojas MD, MSc

Universidad del Rosario

Facultad de Administración

luis.rojas@ur.edu.co

ABSTRACT

Resumen—Desde hace algunos años el Sistema de Seguridad Social en Salud (SGSSS) se ha convertido en una problemática nacional, a la cual no se le ve una pronta solución. Día tras día, se incrementan las causas de esta difícil situación. La incursión de empresas privadas con poca experiencia, la falta de entes reguladores, los constantes cambios en la reglamentación jurídica y los altos niveles de corrupción tanto en las entidades públicas como privadas hacen aún peor la situación y alejan el sistema de su propósito inicial: mejorar la calidad de vida de los colombianos.

Se presenta el modelo de negocios tipo holding de una Empresa Promotora de Salud en Colombia. Las promotoras de salud son protagonistas en el sistema de salud de este país pues funcionan bajo una legislación relativamente permisiva y poca vigilancia por parte de organismos encargados, soportando por tanto responsabilidades enormes tanto sociales como aquellas frente a los stakeholders. El modelo en este artículo se alimenta con la información de una EPS actualmente en operación y que fue obtenida a lo largo de un periodo de cinco años. Asimismo, se hace una simulación a cinco años en el futuro empezando desde 2011.

Abstract—For several years the Social Security System in Health (SHSS) has become a national problem with no real solution in the foreseeable in the near future. Day after day, the causes for this predicament increase.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

The incursion of private owned companies with little experience, lack of regulatory bureaus, the constant changes in regulations and high levels of corruption in both public and private organizations make the situation even worse and take the system apart from its original purpose: to improve quality of life for Colombians.

A business model of a holding type Health Promoting Company (EPS) in Colombia is presented. Health promoters are key players in the health system in this country since they operate under a relatively permissive legislation and poor controlling from governmental agencies, and supporting enormous responsibilities both social and to stakeholders. The model in this article is powered by information from an EPS currently in operation and which was obtained over a period of five years. Also, the model is the basis for a simulation for the next five years starting from 2011.

Keywords

Palabras Clave—Modelo de Negocios, Colombia, Sistema de Seguridad Social en Salud, Sistema de Salud Universal.

Keywords—Business Model, Colombia, Health care delivery, National Health Care System, Universal Health Care.

1. INTRODUCCIÓN

El modelo empieza mostrando las capacidades de la empresa para atender grandes cantidades de personas y soportar tasas de afiliación mucho más altas que aquellas del crecimiento poblacional, pues en la actualidad, la EPS es una de las más importantes de su tipo en el país. Comenzando por este aspecto, la relación con los usuarios es uno de los tres ejes fundamentales del modelo, pues se procura abstraer todo tipo de interacción del paciente con las empresas del holding.

El segundo eje es el de facturación que comprende las relaciones entre las empresas del holding que se modelaron desde la participación accionaria del holding en las mismas y sus relaciones comerciales, informacionales y logísticas. El tercer eje mide el desempeño desde el punto de vista de la precepción del paciente y se fundamenta en la recepción de quejas y la

respuesta de las empresas a éstas. Cabe anotar que este flujo determina de manera notable la carga que la EPS delega sobre cada una de sus empresas.

Finalmente los ejes fundamentales confluyen en la rentabilidad que es la medida de desempeño global de la EPS y la que simplemente se obtiene de la suma de los desempeños individuales de cada empresa. Para este último eje se plantea una función de utilidad que depende de los valores de pacientes, facturación y quejas.

Además de estos cuatro flujos (dinámicos) se tienen tres componentes estáticos principales para este modelo que son la EPS, un conjunto de Instituciones Prestadoras de Servicios con las que los pacientes se relacionan directamente y con mayor frecuencia y por último, una cooperativa de empleados cuya relación principal con la EPS es la facturación.

Se hicieron modelos de cada una de las empresas con datos reales de los tres ejes funcionales y la utilidad esperada coincidió con otras proyecciones conocidas por las directivas de la EPS. Esta proyección es el resultado final de la simulación a cinco años.

2. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR

El SGSSS fue creado para ampliar la cobertura de los servicios de salud, garantizando la calidad y la eficiencia de estos. Pese a ello, la ineficiencia del sistema y los constantes escándalos de corrupción hacen cada vez más difícil el acceso a los servicios de salud, aumentando considerablemente la brecha de la equidad y la justicia social.

El Sistema de Servicios de Salud en Colombia, se encuentra regulado por la Política Nacional de Prestación de Servicios de Salud, reglamentada por la Ley 100 de 1993. Desde entonces la salud pasó de ser un servicio público a un negocio en manos de empresas privadas denominadas EPS (Empresas Promotoras de Salud), entidades responsables de la afiliación y prestación del Plan Obligatorio de Salud, que se encarga de proveer el paquete de servicios básicos en el área de recuperación de la salud, prevención de enfermedades y cubrimiento de ingresos en caso de incapacidad para trabajar, enfermedad, maternidad, entre otros. Sin embargo, son las IPS (Institución Prestadora de los Servicios de Salud) la que en realidad se encargan de prestar los servicios en su nivel de atención a los afiliados y beneficiarios.

El sistema posee dos regímenes separados: el contributivo y el subsidiado. El primero afilia a las personas que tienen una vinculación laboral, es decir, con capacidad de pago, como los trabajadores formales e independientes, los pensionados y sus familias. Según la ley todos los empleados y trabajadores independientes con ingresos totales mensuales mayores a un salario mínimo (aproximadamente 566,000 mil pesos colombianos) y los pensionados deben estar afiliados al Régimen Contributivo. La responsabilidad de la afiliación del empleado es del empleador y del pensionado es del llamado Fondo de Pensiones.

Al segundo régimen se vinculan la población pobre y vulnerable del país a través de un subsidio que ofrece el estado, y es obligación de los entes territoriales como representantes del estado, en el caso de los departamentos las gobernaciones y para municipios las alcaldías, la operación adecuada del proceso de identificación y afiliación de la población objetivo. De igual

forma es su obligación la inversión, contratación y seguimiento de los recursos que se le adjudican al régimen.

Una de las problemáticas más acentuadas es la creación de holdings empresariales donde encontramos empresas o EPS muy grandes que controlan las actividades de otras EPS o IPS mediante la adquisición total o parcial de sus acciones, llevando esto a la incurrir en prácticas malsanas en las que priman la rentabilidad de la gran empresa sobre la prestación del servicio.

El propósito de este artículo es modelar los problemas que se presentan en una de las EPS más grandes de Colombia, y como estos se relacionan con otros entes del sistema, entre ellos IPS, pacientes, utilizando la metodología de dinámica de sistema.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo que se presenta se compone de varios subsistemas que se enfocan en la confluencia de los tres flujos auxiliares del problema que son los pacientes, la facturación y las quejas (de los primeros), en un flujo principal que es la rentabilidad. Instancias diferentes de algunos de los subsistemas son usadas simultáneamente con parámetros distintos puesto que se presentan varias veces en el sistema. Por ejemplo la facturación proveniente de dos IPS de diferente complejidad va a ser distinta, aunque la cantidad de pacientes sea similar en ambas para un tiempo determinado, pues las condiciones que éstos presentan van a ser muy distintas y de la misma forma, los costos asociados. Entonces la misma construcción conceptual se usa en las dos instancias con resultados diferentes.

Los subsistemas son cuatro a saber: (1) el sistema de facturación por servicios de atención a usuarios, (2) el sistema de ingresos por consultas que debe su complejidad a la división no natural que hace la legislación de la población a la que debe prestarse el servicio, (3) el sistema de ingreso por cuotas que como se verá en el desarrollo del artículo, trata de soportar el elevadísimo gasto que se hace en la población no contribuyente. Finalmente, (4) el cuarto sistema es el de la utilidad que simplemente se trata de la diferencia de los gastos con los ingresos. El sistema no comprende otras actividades de la EPS que no se relacionan de manera directa con la afiliación y atención de pacientes. El siguiente diagrama causal muestra la aproximación inicial usada para construir un sistema macro. En la figura no es clara la distinción de los cuatro subsistemas, ni se hace evidente la especialización necesaria para diferenciar las diferentes IPS, pero se evidencia claramente el papel de la utilidad como fin último de la modelación y los pacientes, quejas y facturación como los ejes del problema.

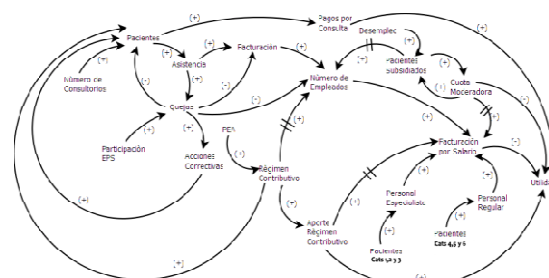


Figura 1. Casi todas las variables del modelo están presentes en este diagrama pero no se hace evidente la diferencia entre una IPS y otra, o que existan varias de ellas.

El flujo de la rentabilidad es el que determina el éxito del modelo como herramienta de solución a un problema del que no se han determinado sus causas. Dada la imposibilidad de plantear un escenario futuro para este flujo basado en datos históricos del mismo (como es el caso de los otros tres flujos), se obtienen con el modelo y la simulación cantidades producidas por los otros tres flujos. La función de utilidad depende entonces de los comportamientos de los flujos de pacientes, facturación y quejas. De esta manera se plantea el objetivo general de maximizar esta función de utilidad para un tiempo determinado, cinco años en este caso.

Además de estos tres flujos (dinámicos) se tienen tres componentes principales “estáticos”, para el sistema modelado: (1) la aseguradora o EPS que es el centro desde el cual se toman las decisiones y al cual deben fluir los distintos flujos de ingresos de cada IPS para constituir el flujo de utilidad. La EPS es la organización cuya visibilidad ante la sociedad es más inmediata aunque sus funciones en el modelo se limiten a aceptar afiliados y a facturar por éste y otros conceptos que aunque no modelados, hacen parte del costo de su funcionamiento. (2) un conjunto de IPS que van a alimentar el primer componente con facturación y al componente todos los flujos posibles, las IPS son las que mantienen una relación más directa, regular y duradera con los usuarios principales de la EPS (los pacientes) y finalmente (3) un cooperativa de empleados cuya única relación (en los términos modelados) con la EPS es la facturación por el costo de funcionamiento. En realidad la cooperativa se encarga de los procesos de selección del personal y su respectiva ubicación en todas las demás áreas.

3.1 Modelación de las IPS: flujo de pacientes

Se construyeron tres modelos basados en los tres flujos mencionados con el fin de relacionar cada IPS con el sistema principal. El primero, el flujo de pacientes (así como el de la facturación que se mencionará a continuación) se basa en la complejidad de cada una de estas empresas y la tasa de asistencia como entradas del subsistema. Además se diferencian las capacidades de las IPS con base en los costos de atención a pacientes únicos, se agrupan las consultas dependiendo del orden de magnitud de los costos de la siguiente manera (en pesos colombianos):

10 mil - 100 mil - 1 millón -
10 millones - 100 millones

La complejidad de una IPS se define como un vector de cantidades enteras que representan las instalaciones disponibles para cada una de las categorías mencionadas en la lista anterior. Por ejemplo la figura siguiente muestra dos IPS de complejidades distintas:

Tabla 1. Dos IPS fundadas con propósitos distintos: atender grandes cantidades de pacientes con condiciones leves y otra destinada a exámenes de alta complejidad.

10 k	100 k	1 M	10 M	100 M
65	18	4	1	0
0	0	0	2	4

Por otro lado la tasa de asistencia, la segunda entrada de cada subsistema es un vector de cantidades reales que indica el porcentaje promedio histórico de asistencia para cada una de las categorías mencionadas en la lista. A partir de estas dos entradas se calcula un flujo de atención diaria que se acumula en un stock para obtener el flujo de atención mensual.

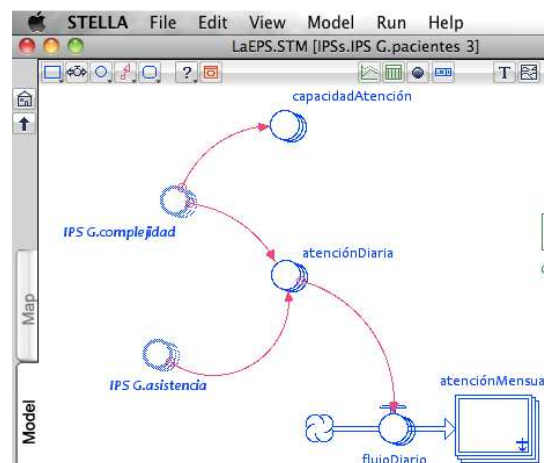


Figura 2. Todas las variables, flujos y stocks de este subsistema están categorizados para cada orden de magnitud del costo de atención por paciente y por cita o consulta.

El crecimiento de la atención acumulada mensual es constante para todas las EPS en cualquier categoría. Este crecimiento constituye la salida del subsistema. Además, el crecimiento poblacional del país que a su vez va a afectar la población afiliada a la EPS no tiene incidencia en las tasas de asistencia. Así se expandan las capacidades instaladas, no se tendrá un crecimiento en la atención de pacientes que tenga similitud con las cifras de crecimiento poblacional.

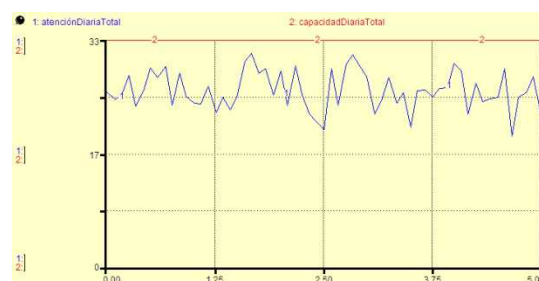


Figura 3. Los niveles de atención no son óptimos debido a la inasistencia de los pacientes (hasta 44% en ciertas categorías). De cualquier forma se paga al especialista.

3.2 Modelación de las IPS: flujo de facturación

Se construyeron dos modelos para la facturación de las IPS centrados en las modalidades de pagos que usa la EPS periódicamente. El primer modelo trata de predecir una cantidad de pacientes en cada categoría para un periodo igual al que se

usa para hacer los pagos, con esta predicción se realiza un contrato a un año esperando que se mantengan las tendencias. La debilidad de este modo de facturación son las pérdidas cuando el número de pacientes es menor al esperado aunque puede ocurrir lo contrario. Este modo de pago es usado en las IPS cuya posición accionaria es mínima. Este modelo es llamado pago por conglomerado.

El segundo modelo hace la facturación por paciente atendido y su modelación simplemente se basa en un emulador de asistencia de pacientes explicado en la sección anterior para calcular la factura periódica que debe pagarse. Para estos dos modelos la salida única es una cantidad discriminada por categorías del dinero facturado por la IPS en el rubro de atención. Este costo lo asume obviamente la EPS en un periodo que generalmente es un mes.

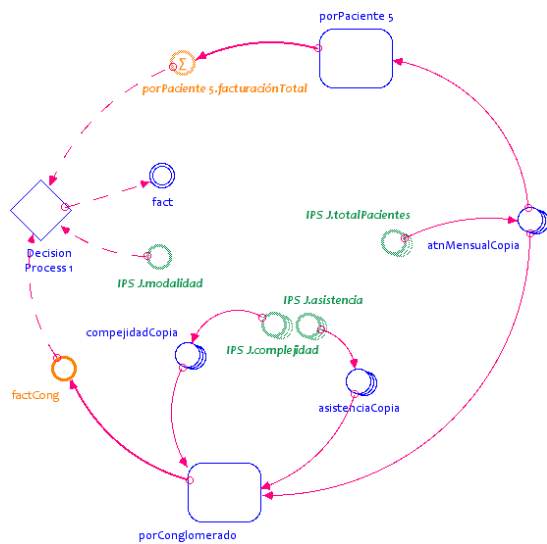


Figura 4. El porcentaje de asistencia, la complejidad y la modalidad de facturación son las entradas del subsistema de facturación (en verde). El total de pacientes del periodo de facturación anterior como entrada adicional sirve para calcular la facturación por pacientes o hacer la predicción de facturación por conglomerado (en otros subsistemas, salidas en naranja)

Los siguientes son los resultados comparativos de dos IPS, una con baja participación accionaria y propensa a ser contratada por conglomerado y otra con alta participación, contratada por paciente y con los típicos niveles de asistencia por categoría.

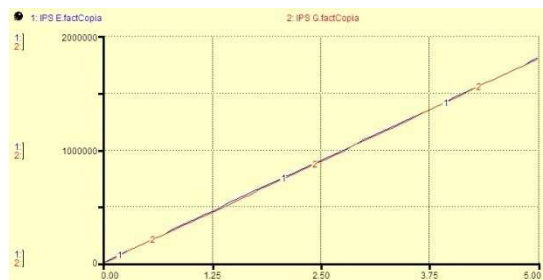


Figura 5. La facturación por conglomerado y por paciente da resultados similares en dos IPS de igual complejidad.

3.3 Modelación de las quejas

El número de quejas dentro de una IPS debería repercutir en la cantidad de pacientes que son direccionados desde la EPS cuando se alcanza un umbral en el cual sería ideal suspender (o modificar) el contrato por un periodo de tiempo. Esta situación se ve afectada desde el punto de vista de la participación accionaria de la EPS dentro de la IPS, dado que el impacto en realidad es menor (o nulo) para una IPS cuyo accionista principal es la EPS. Se definió una función de impacto canónico (IC) que aplica en la medida en que la EPS posea acciones en la IPS, es decir, depende de la participación accionaria (p). La

función y su gráfica se muestran a continuación:

$$IC = \frac{800 + \sqrt{10000p^2 + 1}}{p + 16}$$

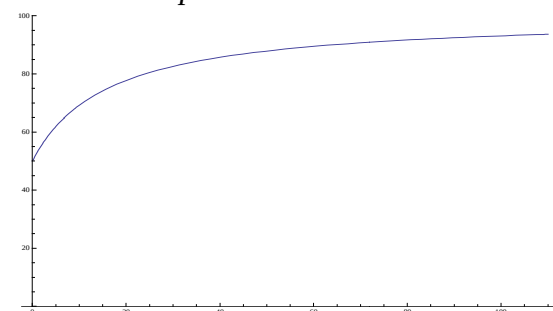


Figura 6. Sección relevante de la función definida para el impacto canónico.

Esta función busca ajustar la penalización cuando la participación accionaria de una IPS determinada no alcanza el 50%. Dependiendo de una decisión arbitraria, la IPS es penalizada cuando las quejas alcanzan cierto umbral. Es arbitraria pues a veces no ocurre una sanción, pero cuando ocurre, esta corresponde al valor de IC. Las quejas tienen un gran alcance dentro del sistema y la cadena que sigue su repercusión llega incluso hasta el flujo final de utilidad. El siguiente diagrama de causal muestra el impacto que tienen las quejas de los pacientes.

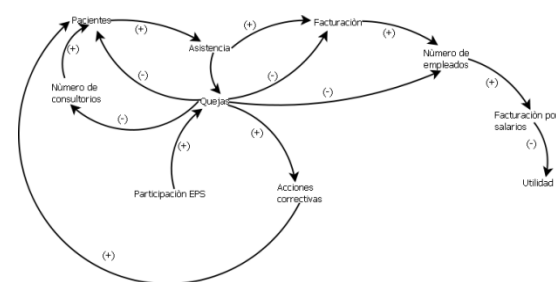


Figura 7. La influencia de las quejas en la atención y utilidad de una IPS

La siguiente gráfica muestra el impacto por quejas en un periodo de un año en dos IPS cuyo porcentaje accionario no supera el 20% (IPS C) para la primera y de 99% (IPS H) para la segunda (umbral de quejas en el 5%).

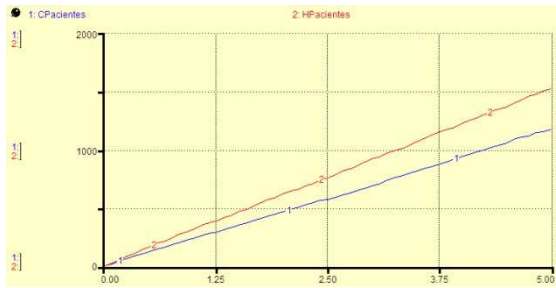


Figura 8. Comparación de las penalizaciones.

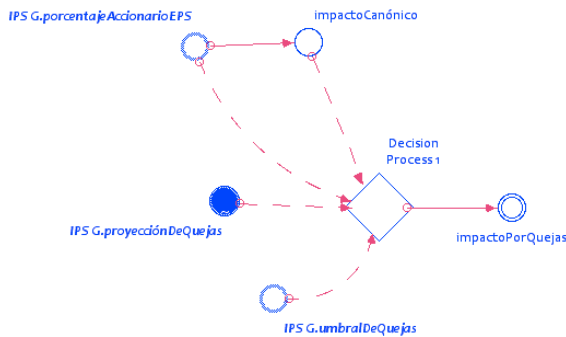


Figura 9. El porcentaje accionario, el umbral de quejas y su proyección dados los datos históricos producen la decisión de suspender el contrato o disminuir la atención en un IPS determinada.

3.4 Modelación de cada IPS

Para el flujo de quejas se usaron entradas únicas para cada IPS lo que proporciona la diversidad necesaria que requiere el sistema. Estos datos se modelaron usando datos históricos de años anteriores (de la datawarehouse de la EPS), modificando aleatoria y ligeramente las series de tiempo. Para los datos estáticos se usaron datos proporcionados por la EPS (como el porcentaje accionario de cada IPS). El modelo de una ISP que usa los subsistemas mencionados en las secciones anteriores se muestra a continuación. Este subsistema solo tiene dos salidas, el número de pacientes atendidos y la facturación.

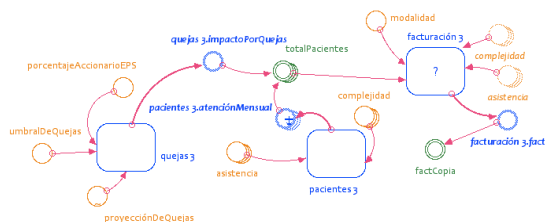


Figura 10. Los tres subsistemas de una IPS con sus entradas y salidas: las salidas de cada subsistema IPS son la facturación por atención y el total de pacientes atendidos.

3.5 Modelación de la población colombiana y su impacto en la EPS

La proyección de crecimiento poblacional así como los datos de tasa de desempleo, población activa, y densidad familiar [1] permiten calcular un factor de captación para el periodo de tiempo del cual se tiene información. La modelación de la población colombiana junto con la tasa de captación proporcionará la población contributiva de la EPS en el periodo de tiempo a simular. La siguiente fórmula se aplica para obtener la población contributiva basada en un factor de captación constante:

$$P_{Contrib} = \frac{P_c P_a D}{T_c T_d}$$

Donde P_c es la población colombiana, P_a es la población activa, D es la densidad familiar, T_c es tasa de captación y T_d es tasa de desempleo. El factor de captación se calcula usando la curva de crecimiento poblacional hasta 2010 y los datos de afiliación de pacientes en un periodo igual de tiempo. Para este caso este factor es de 652,09.

El proceso para encontrar este valor se basa en la “simplificación” de las funciones de la ecuación anterior. Como se conoce en valor $P_{Contrib}$ en un instante determinado que es el inicio de la simulación (553k aproximadamente), y los valores de P_a (0,41 o lo que es lo mismo, el 41% de la población colombiana) y D (2,1), que son la población activa y la densidad familiar, y también el valor de la población colombiana (P_c) y el desempleo en el mismo instante, se puede en consecuencia calcular la T_c .

El primer valor, P_a , se asume como constante pues, en el tiempo de la simulación puede variar de manera no determinista en menos de 0.1%. El segundo valor, la densidad familiar, es constante para el tiempo de la simulación. Simplemente de la ecuación anterior se obtiene:

$$T_c = \frac{k_1 P_c(t)}{T_d P_{Contrib}} \Big|_1$$

Donde $k_1 = P_a D$. Nótese que se asume $T_d(t) = T_d = 0.1090984697$ que es un promedio histórico de una función que tampoco varía mucho en el tiempo de la simulación. Como se quiere que la $P_{Contrib}$ se comporte de manera similar a la P_c , es deseable que los ingresos por afiliación crezcan con la población, entonces se calcula el valor de T_c para $t = 0$ y con éste se calcula $P_{Contrib}$ en el futuro. Esta “simplificación” de las funciones es de cierta manera segura y simplifica los cálculos del simulador, así como enfatiza la “necesidad” asumida del holding de crecer en afiliaciones en concordancia con el crecimiento poblacional.

Este factor podría ser remplazado por diferentes tipos de funciones que reflejen de manera más precisa el comportamiento de las tasas de afiliación diferenciadas granularmente en periodos de tiempo muy cortos.

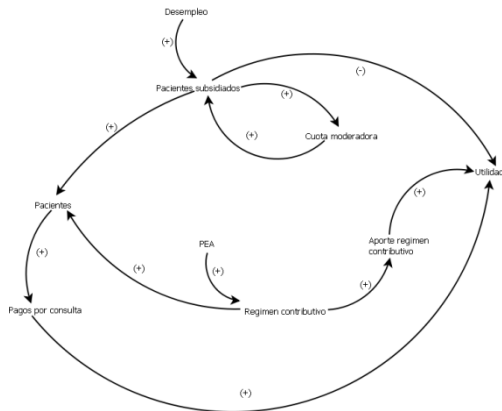


Figura 11. Diagrama causal para la EPS: Parte de las utilidades van de la mano con el crecimiento del número de afiliados al régimen contributivo. A medida que la Población Económicamente Activa (PEA) se incrementa y el desempleo disminuya, esta parte de las utilidades aumentará.

A partir de este sistema de modelación de crecimiento de población se construye otro para la facturación por afiliación y desafiliación y retiro de la EPS. Dado que la curva de crecimiento de la población contributiva afiliada a la EPS es lineal o se puede asumir como tal y que el porcentaje de población contributiva disminuye con respecto al de población afiliada, se puede llegar a la siguiente sistema de ecuaciones integro-diferenciales que representa el crecimiento de ambas poblaciones en el tiempo y sobre la cual se puede simular la facturación de la EPS por afiliaciones. Como trabajo futuro se puede plantear la división de la población en cuantiles de edad de forma que la población se traslade de un cuantil a otro a medida que pasa el tiempo. La solución del sistema de ecuaciones y la simulación que incluya el efecto del envejecimiento de la población van más allá de los objetivos planteados inicialmente para este trabajo.

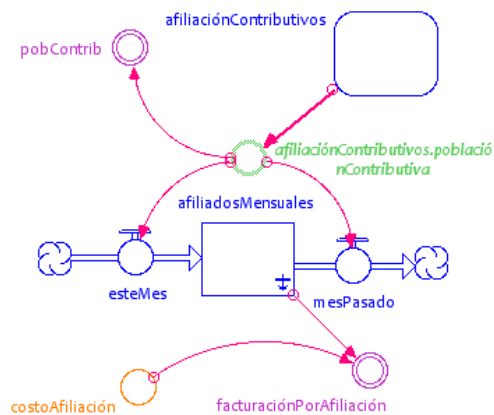


Figura 12. La afiliación de contributivos que usa la fórmula del factor de captación es un subsistema de este subsistema que proporciona además de la población contributiva, la facturación mensual por afiliación.

3.6 Modelación de la cooperativa de empleados

De la misma forma que el subsistema de pacientes, este subsistema utiliza variables agrupadas en vectores para manejar

la complejidad de las variables relacionadas. La complejidad proviene del número de personas o procesos que devengan salarios en uno de los órdenes de magnitud mencionados en la sección de flujo de pacientes. Se introduce además una matriz de funciones llamada canónica del personal que enumerara la cantidad de empleados requeridos por cada grupo salarial:

Tabla 2. Categorías de Empleados de la EPS.

Equivalencia	10 k	100 k	1 M	10 M	100 M
Especialista	0	3	4	5	6
Médico	3	4	5	6	7
Enfermera	0,2	0,6	0,8	1	1,2
Paramédico	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Otro 1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
Otro 2	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8

Las filas representan grupos de personas cuyos salarios son similares y las agrupaciones por columnas los costos promedio de los servicios de atención por paciente y por día. Cada posición de la matriz representa el número de profesionales necesario para utilizar la totalidad de la capacidad instalada en un consultorio en un día o un proceso de costo similar par el caso de la Cooperativa o de la EPS.

Para el modelo se supone una cobertura constante y completa de cada una de las categorías (agrupaciones de personas con salarios similares) pero cada posición de la matriz puede ser reemplazada por una función de número de empleados contra complejidad pues en no todos los momentos las plazas han de estar ocupadas con personal laborando.

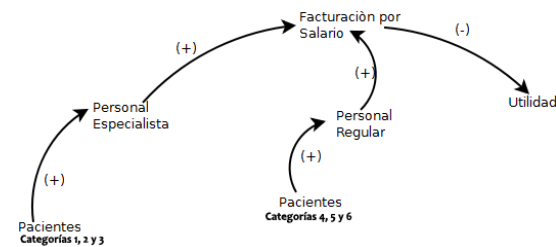


Figura 13. Diagrama causal de facturación: la atención de pacientes en categorías más altas disminuye de manera dramática la utilidad, el personal y los insumos necesarios para atender un número muy limitado de casos puede llevar a la quiebra a una EPS.

La facturación por servicios del personal de la IPS que proviene de la cooperativa va a estar dada por operaciones de producto (miembro a miembro) entre cada uno de los vectores que componen la matriz de función canónica de personal y el vector de complejidad de la IPS; este producto se verá afectado después por un porcentaje mínimo de empleados que deben provenir de la cooperativa y que es propio de cada IPS. Una vez se obtiene ese vector de personal inscrito en la cooperativa y asignado a la IPS, se multiplica por un vector de salarios para obtener la facturación detallada por este rubro para la cooperativa. La

facturación total se obtiene añadiendo a esta última, la facturación por movimiento que agrupa los costos de cambiar personal de un subsistema a otro (EPS, IPS y Cooperativa).

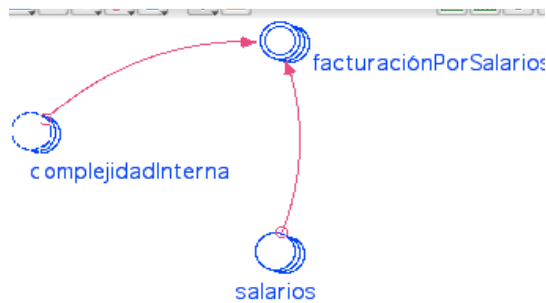


Figura 14. La complejidad de la Cooperativa y la EPS junto con los salarios de los trabajadores de las mismas proporcionan una facturación mensual constante.

4. REFERENCIAS

- [1] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Dirección de Metodología y Producción Estadística, “Empalme Tasa Global de Participación, Tasa de Ocupación y Tasa de Desempleo”, Marzo de 2010, Bogotá, Colombia.
- [2] Forrester Jay W., “Principles of Systems, Text and Workbook”, Wright-Allen Press, Inc., 1968, Cambridge, MA.
- [3] Voinov Alexey, “Systems Science and Modeling for Ecological Economics”, Elsevier, Oxford, 2008.

AGRADECIMIENTOS

A Christian David González, practicante del Laboratorio de Modelación y Simulación de la Facultad por los diagramas causales y otros diagramas.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Simulación del tráfico de la carrera séptima en Bogotá D.C. Colombia, entre calles 34 y 72 utilizando dinámica de sistemas

Traffic Simulation of Seventh Avenue in Bogotá D.C. Colombia, between 34 and 72 street using system dynamics

Olga R. Romero Q.

Universidad Distrital
Carrera 7 No. 40 - 53
Bogotá D.C – Colombia
(571) 3-239300

olgarosana@gmail.com

Mauricio Becerra F.

Universidad Católica
Diagonal 47 #15-50
Bogotá D.C – Colombia
(571) 3-277300

mauriciobecerrafernandez@gmail.com

Milton M. Herrera R.

Universidad Distrital
Carrera 7 No. 40 - 53
Bogotá D.C - Colombia
(571) 3-239300

ingmiltonmauricio@gmail.com

Johanna Trujillo D.

Universidad Católica
Diagonal 47 #15-50
Bogotá D.C – Colombia
(571) 3-277300

trujillojohanna@gmail.com

ABSTRACT

Through the characterization and modeling of Seventh Avenue traffic in Bogotá D.C. city in Colombia, between 34 and 72 streets using system dynamics, managing to understand elements of their behavior and relationships between the variables of mobility, as they are mainly road capacity, number of vehicles in the system, passengers and speed mobilized average. This allows analyzing the impact on overall system performance and the differences presented in the rush hours and off-rush hours.

Keywords

System dynamics, traffic, public transport, mobility.

RESUMEN

Mediante la caracterización y el modelamiento del tráfico de la Carrera Séptima de la ciudad de Bogotá D.C. en Colombia, entre las calles 34 y 72 usando Dinámica de Sistemas, se logra

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

comprender elementos de su comportamiento y las relaciones existentes entre las variables de movilidad, como los son principalmente la capacidad vial, volumen de vehículos en el sistema, pasajeros movilizados y velocidad promedio. Lo anterior permite analizar el impacto en el desempeño general del sistema y las diferencias presentadas en las horas pico y las horas valle.

Palabras clave

Dinámica de Sistemas, tráfico vehicular, transporte público, movilidad.

1. INTRODUCCIÓN

La movilidad se considera factor fundamental en el desarrollo de la sociedad y en la calidad de vida de sus integrantes, dada su relación directa con la competitividad y la productividad de las regiones.

Bogotá presenta patrones de movilidad desarticulados y desordenados, lo cuales se derivan del crecimiento urbano sin una planificación adecuada, razón por la que requiere intervenciones complejas tanto en la malla vial como en las políticas y directrices que permiten regular y administrar el sistema [1].

Ante dicha problemática, Bogotá sigue la tendencia global de la implementación de sistemas de transporte masivo, ejecución que se ha realizado en diferentes fases de construcción, donde la tercera fase contemplaba la adopción de Transmilenio por la Carrera Séptima, sin embargo esta se pospuso dando paso a la

construcción por la Calle 26 y la Carrera 10. El diseño sobre la Carrera Séptima ha sido redefinido a un solo carril, sin sobrepasos, ni obras sobre el mobiliario.

La aplicabilidad, coherencia y proyección de este tipo de propuestas se convierten así en determinantes para el desarrollo de la población, dada la sensibilidad que genera sobre aspectos sociales, territoriales, ambientales y económicos, de allí la importancia de comprender las variables del transporte urbano y su comportamiento actual, que posteriormente permitirán evaluar las propuestas sobre este importante eje de la ciudad.

El fundamento de este estudio es modelar el tráfico vehicular sobre la Carrera Séptima empleando la dinámica de sistemas como resultado del análisis del sistema real, haciendo posible la comprensión de las relaciones y del desempeño actual, que posteriormente permitirán evaluar los escenarios propuestos por las diferentes entidades.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA [2]

El corredor de la Carrera 7 recorre la ciudad de norte a sur, iniciando en la Calle 6, pasando por todo el centro expandido y finalizando en la Calle 190. Este corredor se caracteriza por su dinámica comercial, empresarial y educativa. Allí se encuentran importantes centros empresariales como los de la Calle 26, 72 y

116, y zonas comerciales como San Martín, Santa Bárbara y Palatino.

La Carrera Séptima es la única vía de la ciudad que tiene un plan reversible, denominado “contraflujo”, que de 5 p.m. a 8 p.m. da prioridad a los vehículos que se movilizan en sentido sur norte. El corredor maneja un alto volumen vehicular y de viajes. Adicionalmente, cuenta con la mayor densidad de rutas de transporte público de la ciudad en su tramo más cargado, de la Calle 26 a la Calle 45.

En la Tabla 1 se presentan las principales características de tráfico de la Carrera Séptima en términos de volumen vehicular y número de rutas [3].

De acuerdo con el SITYMUR de la Universidad de Los Andes, la velocidad promedio de viaje en la Carrera Séptima es de 26 Km/h. En las horas pico de la mañana, de 6:00 a.m. a 9:00 a.m., la velocidad varía entre 23 y 25 Km/h y en las horas pico de la tarde la velocidad disminuye a 20 Km/h.

Teniendo en cuenta la información anterior y asociada a la cantidad de pasajeros promedio diarios por esta vía (16,000 pasajeros/hora por sentido), surge el interés analizar el sistema actual usando la dinámica de sistema entender su comportamiento y las relaciones que se generan entre las variables.

Tabla 4. Características del tráfico por la Carrera séptima

INDICADOR	VALOR	UNIDADES
Rutas TPC ¹	98	Rutas en el tramo más cargado del corredor
Busos hora pico ²	600	Bus/hora
Volumen máximo de viajes TPC (Calle 31-Calle 72) ³	16.000	pasajeros/hora/sentido
Velocidad Promedio TPC ⁴	26	Km/h
Volumen máximo diario de vehículos sentido S-N (Calle 106) ¹	29.456	vehículos/día/sentido
Volumen máximo diario de vehículos sentido N-S (Calle 28) ¹	22.190	vehículos/día/sentido
Volumen máximo vehículos sentido S-N (Calle 28, Periodo 6:00-9:00 a.m.) ¹	3.900	Vehículos
Volumen máximo de vehículos sentido N-S (Calle 106, Periodo 6:00-9:00 a.m.) ¹	7.300	Vehículos

2.1 Objetivo

Modelar el tráfico vehicular y de pasajeros en la Carrera Séptima de la ciudad de Bogotá entre las calles 34 y 72, empleando Dinámica de Sistemas.

2.2 Alcance

Este estudio está dirigido a la Carrera Séptima, entre las Calles 34 y 72, en sentido Sur – Norte, sin considerar contraflujo.

3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

3.1 Tránsito vehicular y de pasajeros

El tránsito vehicular por la Carrera Séptima, desde la Calle 34 a la Calle 72, se caracteriza por la circulación de vehículos particulares, de tipo público, camiones y motocicletas. En este estudio no se contempla el tránsito de motocicletas.

Los volumen sobre el corredor, de acuerdo con el aforo, estudio de tránsito y estudio de factibilidad técnica para la Carrera Séptima (Calle 34 a Calle 170) en Bogotá realizado en el año 2005, en sentido Sur – Norte se muestra en la figura 1 [4].

Para el caso de estudio se parte de la siguiente caracterización de los vehículos que por allí circulan:

3.1.1 Transporte público colectivo

El transporte público colectivo en el tramo de las Calle 34 a la Calle 72, presenta un volumen, promedio en horario pico de la mañana, de 523 vehículos. Basados en estudios realizados por la Secretaría de Movilidad, mediante el informe de interventora técnica administrativa, jurídica y financiera de la toma de información de campo para el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte y para la priorización de intersecciones a semaforizar de Bogotá D.C., es posible clasificar los vehículos de transporte colectivo que

circulan por la Carrera Séptima en cuatro tipos como se muestra en la figura 2.

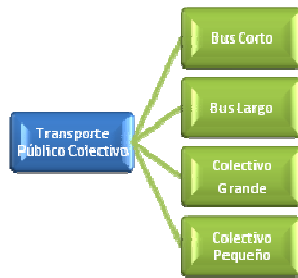


Figura 2. Clasificación del transporte público colectivo

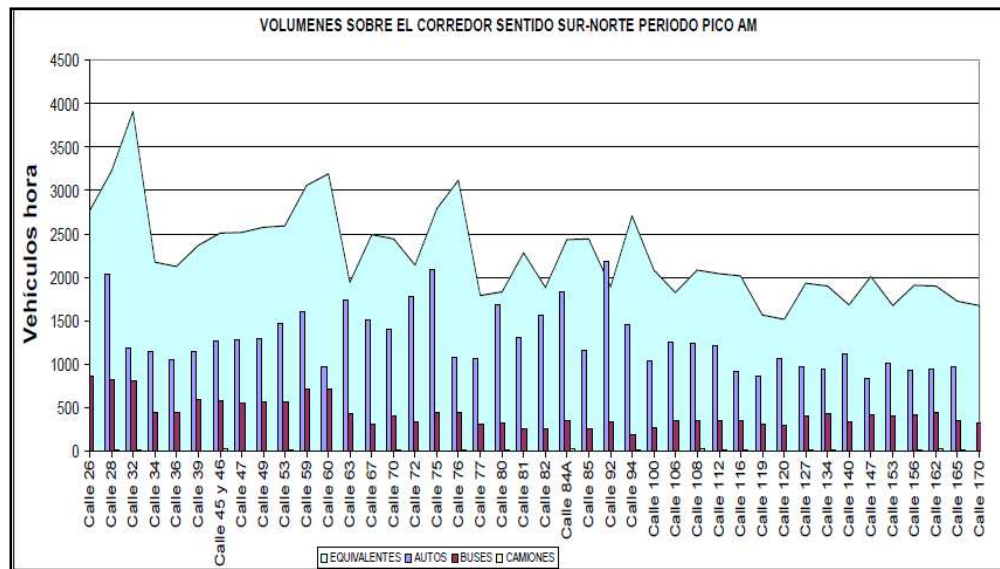


Figura 1. Volúmenes sobre el corredor sentido Sur – Norte periodo pico antes de meridiano

La clasificación del transporte público enunciada, se caracteriza por su capacidad de pasajeros, adicionalmente se tipifica según su ocupación como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Nivel de ocupación por tipo de TPC

TIPO DE VEHICULO	CAPACIDAD	NIVEL DE OCUPACIÓN					
		A	B	C	D	E	F
COLECTIVO PEQUEÑO	12	3	6	12	13	15	16
COLECTIVO GRANDE	19	4	9	19	23	26	27
BUS CORTO	65	9	18	36	48	60	65
BUS LARGO	65	11	21	43	56	70	75

3.1.2 Transporte particular y taxis

Los vehículos particulares y taxis representan un 71% del total de vehículos que circulan por el tramo de la Calle 34 a la Calle 72 en periodo pico de la mañana. De acuerdo con un estudio realizado por la Universidad Javeriana en el año 2005, del total de vehículos tipo automóvil, cerca de un 62% son tipo taxi y el 38% restante son tipo particular como se muestra en la figura 3. El nivel de ocupación para los vehículos taxi está dado por la cantidad de pasajeros a bordo, es decir 0, 1, 2, 3 y 4 pasajeros. Para el caso de vehículos particulares, de acuerdo con el Proyecto de Acuerdo 315 de 2010 Concejo de Bogotá D.C., cerca del 60% tan solo

tienen ocupación de una persona, es decir los conductores se movilizan solos y apenas el 0,1% de los vehículos lleva más de 3 pasajeros.



Figura 3. Clasificación de vehículos por tipo de automóvil

3.1.3 Camiones

De acuerdo con el aforo, estudio de tránsito y estudio de factibilidad técnica para la Carrera Séptima en Bogotá realizado en el año 2005, en sentido Sur – Norte la movilidad de camiones es muy baja, con tan solo un promedio de 35 camiones y con presencia en los siguientes puntos: Calle 45, Calle 53 y Calle 70.

3.2 Intersecciones semafóricas

A partir de observación directa en el tramo de la Carrera Séptima entre la Calle 34 y Calle 72 se encuentran 14 intersecciones semaforizadas, las cuales se describen en la tabla 3.

3.3 Paraderos

Los paraderos los podemos ver como parte del entorno en el cual se encuentra el objeto de estudio (vehículos) o entidades. Existen sobre el tramo en estudio 12 paraderos habilitados para el transporte público en el sentido Sur- Norte, por otra parte de sentido Norte-Sur existen 10 paraderos para este tipo de servicio.

En cuanto a las paradas o paraderos del servicio particular es difícil determinar dicho número ya que su comportamiento es aleatorio. En la siguiente tabla 4 se enuncian los paraderos públicos en el tramo de interés, en sentido Sur Norte con base en la Gerencia en Vía de la Secretaria de Movilidad.

Tabla 3. Identificación de las intersecciones en la Carrera Séptima entre la calle 34 y 72

INTERSECCION	Flujo Oriente Occidente	Flujo Occidente Oriente	Acceso a carril Sur Norte desde Occidente Oriente	Acceso a carril Norte Sur desde Oriente Occidente	Abandono carril sur norte hacia carril oriente occidente	Abandono carril norte sur hacia carril occidente	Exclusivamente Peatonal	Distancia desde la Última Intersección en el tramo analizado (mts)
Calle 34	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	0
Calle 35	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	225
Calle 39	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	300
Calle 45	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	630
Calle 46	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	136
Calle 47	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	125
Calle 50	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	265
Calle 53	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	385
Calle 59	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	540
Calle 60	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	119
Calle 63	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	358
Calle 66	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	356.8
Calle 70	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	293.09
Calle 72	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	266

Tabla 4. Paraderos sobre la Carrera Séptima desde la calle 34 hasta la calle 72

Paradero	Ubicación
La Merced	Calle 33 – Calle 34
Parque Nacional	Parque Nacional
Javeriana I	Calle 40
Javeriana II	Calle 45
Hospital Militar	Calle 48A
Bosque Calderón	Calle 52
Calle 57	Calle 57
Calle 60	Calle 60
Granada	Calle 64
Inmaculada	Calle 67
Centro Financiero	Calle 70
Paradero	Ubicación

3.4 Capacidad de la vía

El cálculo de capacidad se realiza a través de la metodología propuesta por el Highway Capacity Manual (2000) para las intersecciones semaforizadas, del Consejo de Investigaciones del Transporte de los Estados Unidos., debido a que en Colombia no se ha formalizado una metodología para realizar análisis de Capacidad y Niveles de Servicio en vías Multicarriles o Doble calzada, ni para intersecciones semaforizadas urbanas.

3.5 Definición del cálculo de la capacidad de la vía

El Highway Capacity Manual (HCM), en su versión del año 2000, define:

- o V: Duración de la fase verde (se permite el paso de vehículos) [segundos]
- o R: Duración de la fase roja (no se permite el paso de vehículos) [segundos]
- o T: Ciclo del semáforo = V + R + A [segundos]

Mientras el semáforo esté en su fase de verde podrá pasar por el acceso un número máximo de vehículos hora, que constituye lo que se denomina intensidad de saturación.

Multiplicando esta intensidad de saturación por la relación entre la duración de la fase de verde y la del ciclo se obtiene el máximo número de vehículos que pueden pasar en una hora (capacidad). Para efectos del estudio y con base en observación directa se toma el tiempo de ciclo predominante en el tramo de interés (ver tabla 5).

Tabla 5. Tiempo de ciclo de semaforización

Tiempo de Ciclo	Amarillo	Verde
90	2	58

La capacidad está dada por:

$$C = \frac{V}{T} \times \frac{3600}{S}$$

Donde:

- o C: Capacidad (vehículos/hora)
- o S: Intensidad de saturación (vehículos/hora)
- o V: Duración de la fase de verde (segundos)

o T : Duración del ciclo (segundos)

3.5.1 Índice de saturación

El procedimiento para el cálculo de la intensidad de saturación (S), es el siguiente:

$$S = 1900 * N * f_a * f_{vp} * f_i * f_e * f_b * f_z * f_{gd} * f_{gi}$$

Donde:

- o S : Intensidad de saturación (vehículos/hora)
- o N : Número de carriles
- o $f_a, f_{vp}, f_i, f_e, f_b, f_z, f_{gd}, f_{gi}$: Factores de corrección (ver tabla 6).

Tabla 6. Factores de corrección

f	Corrección Por	Fórmula	Variable
f_a	Anchura del carril	$(5,4+A)/9$	A: Anchura de Carril (m)
f_{vp}	Vehículos pesados	$100/(100+P)$	P: Porcentaje de pesados (%)
f_i	Inclinación de la rasante	$1-l/100$	l: Inclinación de la rasante
f_e	Estacionamiento	$1-(0,1+M/20)/N$	M: Estacionamientos
f_b	Paradas autobus	$1-B/(250N)$	B: Auto buses que paran por hora
f_z	Situación	$(0,9-1)$	En centro urbano 0,9, en otras zona 1
f_{gd}	Giros a la derecha	$1-0,15P$	P: Proporción de vehículos que giran a la derecha
f_{gi}	Giros a la izquierda	$1/(1+0.05P)$	P: Proporción de vehículos que giran a la izquierda

De acuerdo con los datos recolectados y que caracterizan la Carrera Séptima entre las calles 34 y 72, los factores de corrección y parámetros a utilizar en el modelo dinámico son los mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros y Factores de Corrección

S_o	1900	f_e	0,78
N	3,00	f_b	0,85
f_a	0,93	f_z	0,90
f_{vp}	0,997	f_{gd}	0,95
f_i	0,95	f_{gi}	0,996

3.5.2 Factor de hora pico

Debido a que las condiciones de demanda no son uniformes, sino que existen variaciones aleatorias que generan situaciones indeseables en el flujo vehicular, se ha optado por reducir la capacidad mediante un factor de hora pico (FHP) que considera dichas variaciones de acuerdo con el horario de tránsito sobre la vía.

$$\text{Capacidad real} = C * FHP$$

Donde:

- o FHP : Factor de Hora Pico

El factor de hora pico se determinó de acuerdo con los cálculos realizados por la Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia (UPTC), usando las distribuciones de Poisson y Binomial (ver tabla 8).

Tabla 8. Factores de Horario Pico, suponiendo llegadas de vehículos aleatorias

Volumen Horario Total Cálculado C	FPH	Volumen Horario Total Cálculado C	FPH
100	0.68	1600	0.90
200	0.70	1800	0.92
300	0.72	2000	0.93
400	0.74	2200	0.95
600	0.78	2400	0.95
800	0.81	2600	0.96
1000	0.84	2800	0.97
1200	0.86	>=3000	0.97
1400	0.89		

Dado que el valor cálculo de la capacidad C a través de la metodología HCM es 1842 Veh/hora, se utiliza la extrapolación para obtener el factor de hora pico, obteniendo un factor de 0.922, el cuál se utilizará para determinar la capacidad real considerando los horario picos comprendidos entre las 7:00 am a 9:00 am y 6:00 pm a 8:00 pm.

4. MODELO DINÁMICO

4.1 Conceptualización del modelo

En el modelo dinámico son considerados cuatro subsistemas:

- o Subsistema de transporte.
- o Subsistema de capacidad vial.
- o Subsistema de velocidad.
- o Subsistema de pasajeros.

4.1.1 Subsistema de transporte

De acuerdo con la caracterización realizada, se considera el tránsito de vehículos tipo taxi, auto y transporte público colectivo (incluye camiones). El subsistema de transporte depende de la congestión vehicular por hora analizada, cuya relación se mide por la capacidad vial y por la cantidad real de vehículos en el sistema, de la velocidad alcanzada y de la tasa de ingreso y salida de vehículos en el sistema.

4.1.2 Subsistema de capacidad vial

Las características de la malla vial condicionan la capacidad de la Carrera Séptima entre calles 34 y 72, la cual depende de los factores descritos anteriormente, como son número y ancho de los carriles, inclinación, semaforización, participación de vehículos pesados, entre otros factores. La capacidad de la vía es un elemento relevante al analizar el tráfico, debido al efecto de la restricción sobre el arribo de vehículos y sobre la velocidad alcanzada.

4.2 Representación del modelo

Los subsistemas conceptualizados se representaron empleando el Diagrama de Forrester, como se muestra en las figuras de la 4 a la 8.

4.1.3 Subsistema de velocidad

La velocidad alcanzada en el tramo de interés, como se veía en el subsistema anterior, depende del total de vehículos en el sistema y su relación con la capacidad vial. Debido a esta relación, la velocidad promedio varía según la hora, esto por el efecto de una mayor presencia de vehículos en hora pico.

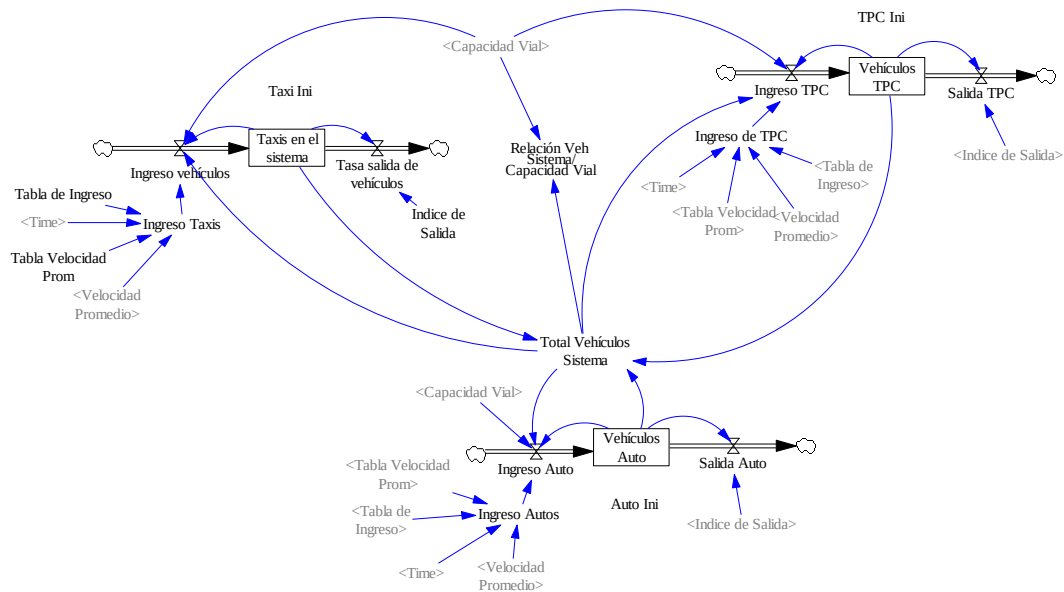


Figura 4. Diagrama de Forrester Subsistema de Transporte

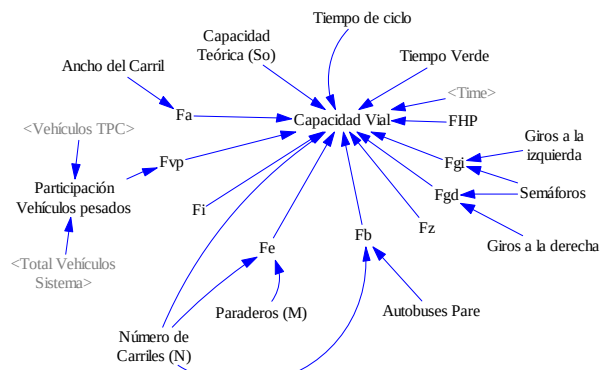


Figura 5. Diagrama de Forrester Subsistema de Capacidad Vial

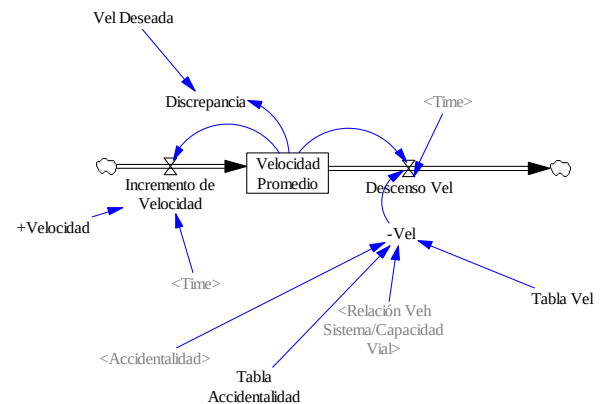


Figura 6. Diagrama de Forrester Subsistema Velocidad

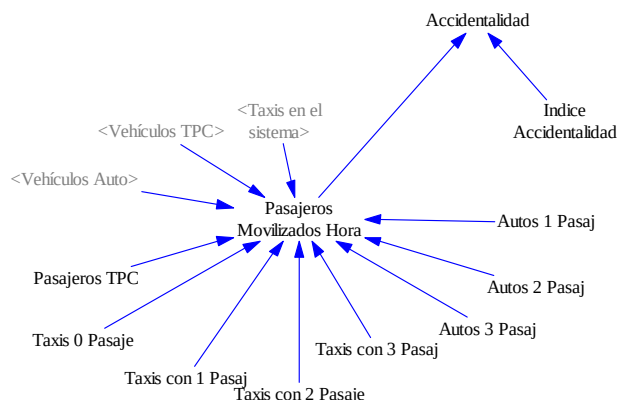


Figura 7. Diagrama de Forrester Subsistema de Pasajeros

4.3 Comportamiento del modelo

Luego de representar y parametrizar el modelo con los datos obtenidos a través de la caracterización del sistema, se simuló utilizando el software Vensim® PLE for Windows Version 5.5.

4.4 Evaluación del sistema modelado

Con el objetivo de comprobar que el modelo programado representa adecuadamente el sistema real, se realizó un análisis comparativo entre los datos obtenidos y los expuestos en la caracterización del tramo de interés.

4.4.1 Análisis de correlación de número de vehículos por hora

Para determinar la relación de los datos obtenidos a través del modelo simulado y los del sistema real, se realizó la prueba de correlación empleando software de estadística. El valor de correlación obtenido (0.675), indica que existe una correlación positiva entre los datos obtenidos del sistema real y del simulado (ver tabla 9).

Tabla 9. Correlación del número de vehículos en el sistema

Correlations			
		Real	Simulado
Real	Pearson Correlation	1	.675**
	Sig. (2-tailed)		.008
	N	14	14
Simulado	Pearson Correlation	.675**	1
	Sig. (2-tailed)	.008	
	N	14	14

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

4.4.2 Comparación de medias de la velocidad promedio

Se realizó una prueba de comparación de medias para la velocidad promedio con la que se logró concluir que a un nivel de significancia de 0.05, los datos no permiten asegurar que existen diferencias en la velocidad promedio del sistema real y del simulado (ver tabla 10 y 11).

Tabla 10. Prueba de hipótesis para la velocidad promedio

$H_0 = \mu_1 = \mu_2$	No existen diferencias significativas entre el promedio de la velocidad del sistema real y del simulado
$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$	Existen diferencias significativas entre el promedio de la velocidad del sistema real y del simulado

4.4.3 Comparación de medias para el número de pasajeros promedio hora

Se realizó una prueba de comparación de medias para el número de pasajeros por hora con la que se logró concluir que el valor de correlación obtenido (0.845), indica que si existe una correlación positiva entre los datos obtenidos del sistema real y del simulado.

Tabla 12. Correlación del número de pasajeros

Correlations			
		Pasajeros Sim	PasReal
PasajerosSim	Pearson Correlation	1	.845**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	14	14
PasReal	Pearson Correlation	.845**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	14	14

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

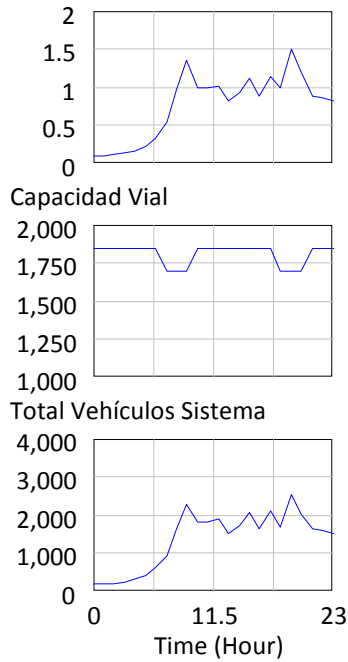
5. RESULTADOS

A través del modelo dinámico generado para representar el comportamiento del tráfico en la Carrera Séptima desde la calle 34 a la calle 72, se explica la relación de la ocupación de la vía por los diferentes tipos de transporte y su efecto sobre la velocidad y pasajeros movilizados. Se evidencia en las horas pico el desbordamiento de la capacidad vial disponible, debido a un mayor flujo de vehículos (ver figura 8).

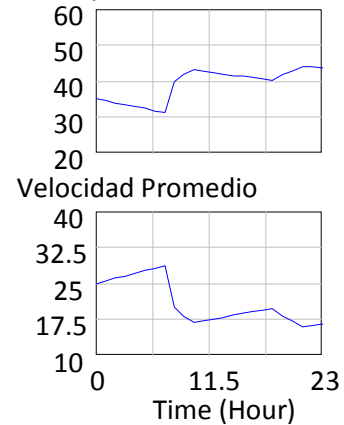
Así mismo, la velocidad promedio presenta un comportamiento creciente durante las primeras horas del día, la cual empieza a disminuir en el horario pico de la mañana, con un leve crecimiento en las horas de la tarde y descenso en el horario pico de la noche, esto por efecto de la cantidad de vehículos sobre la vía, generando una mayor discrepancia sobre la velocidad objetivo (60km/h) (ver figura 9).

Los pasajero movilizados, se asocian con las variables anteriores, es decir está sujeto a la capacidad de la vía, a la velocidad alcanzada y a los vehículos en el sistema. En el horario pico es notorio el incremento de pasajeros movilizados y esto a su vez influye sobre la accidentalidad, la cual junto con la relación de vehículos en el sistema y la capacidad vial, generan el decrecimiento de la velocidad (ver figuras 10 y 11).

"Relación Veh Sistema/Capacidad Vial"



Discrepancia



Velocidad Deseada

Current: 60

Figura 9. Velocidad promedio

Figura 8. Relación de vehículos en el sistema y la capacidad vial

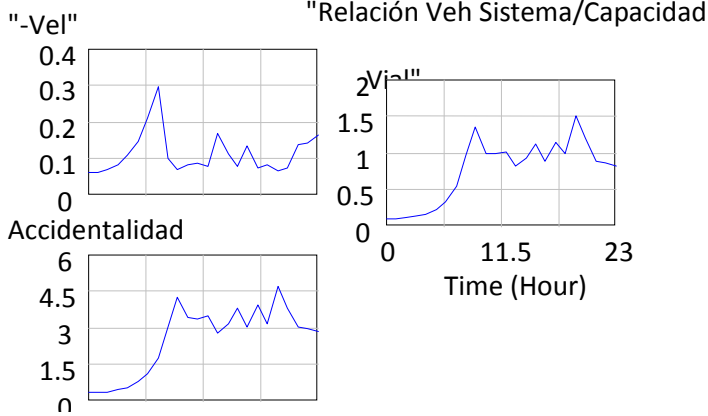
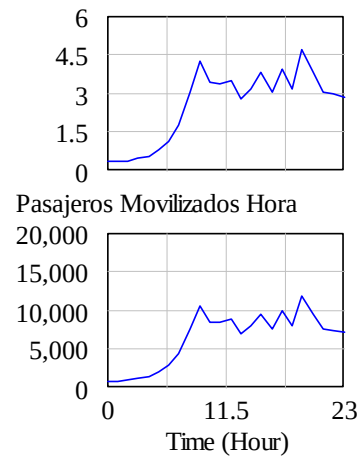


Figura 10. Accidentalidad, relación de vehículos en el sistema y capacidad sobre la disminución de la velocidad

Accidentalidad



Indice Accidentalidad

Figura 11. Pasajeros movilizados y accidentalidad

Tabla 11. Comparación de medida de la velocidad promedio

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Simulado * Real	Between Groups	100.714	9	11.190	2.420	.205
	Within Groups	18.500	4	4.625		
	Total	119.214	13			

6. CONCLUSIONES

El tráfico actual de la carrera séptima entre la calle 34 y la calle 72, tiene mayor influencia de taxis y vehículos particulares, representando cerca del 72% del total de vehículos que circulan en dicho tramo, sin embargo la mayor cantidad de pasajeros es movilizado por el transporte público colectivo que apenas representa el 27% del total de vehículos. Es notoria la necesidad de incentivar en el sistema actual el uso compartido de vehículos particulares, ya que alrededor del 65% llevan solamente un pasajero, lo que influye directamente sobre la efectividad del sistema.

En cuanto al modelo simulado a través de la dinámica de sistemas se comprenden las relaciones de la cantidad de vehículos sobre la capacidad vehicular y la velocidad promedio, generando restricción en el sistema como resultado de su saturación, lo que impacta directamente la cantidad de pasajeros servidos. Al entender las relaciones del sistema actual, es posible ampliar este estudio, que actúa como base, para el planteamiento de escenarios que permitan generar propuestas y así mejorar la movilidad en la zona, que es de gran importancia en la ciudad por su dinámica comercial y académica.

7. REFERENCIAS

- [1] Estudio Prospectivo del Sistema Integrado de Bogotá y la Región. Contrato 391 de 2008. Abril de 2009.
- [2] Boletín de Movilidad Carrera Séptima. Observatorio de Movilidad. Cámara de Comercio de Bogotá – Universidad de los Andes. 2010.
- [3] ¹SDM 2010. ²Consortio Carrera Séptima, 2008. ³Documento técnico de soporte (2010) SDM, SDP Udy y TM. ⁴SITYMUR, Universidad de los Andes.
- [4] Aforo, estudio de tránsito y estudio de factibilidad técnica para la Carrera séptima (Calle 34 a Calle 170) en Bogotá realizado en el año 2005.
- [5] ARACIL Santoja Javier: Introducción a la Dinámica de Sistemas. Editorial Alianza, Madrid, 1986.
- [6] FORRESTER Jay W: Dinámica Industrial. Editorial Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- [7] GORDON Geoffrey: Simulación de Sistemas. Editorial Diana, Sexta Edición, México, 1991.
- [8] MANUAL de Vensim: User's Guide Versión 1.62. Ventana Sitems 1995.
- [9] MONTGOMERY, D y RUNGER, G. Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. McGraw Hill. México. 1996
- [10] MONTGOMERY, D. Diseño y Análisis de Experimentos. Segunda Edición. Limusa Wiley. México. 2006
- [11] HCM (Highway Capacity Manual 2000). Consejo de Investigaciones del Transporte de los Estados.
- [12] Interventora técnica administrativa, jurídica y financiera de la toma de información de campo para el programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte y para la priorización de intersecciones a semaforizar de Bogotá D.C. 2009.
- [13] Estudio Prospectivo del Sistema Integrado de Bogotá y la Región. Contrato 391 de 2008. Abril de 2009.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Modelamiento de la demanda de servicios logísticos de almacenamiento a través de dinámica de sistemas

Demand modeling for logistics storage through system dynamics

Olga R. Romero Q.

Universidad Distrital
Carrera 7 No. 40 - 53
Bogotá D.C – Colombia
(571) 3-239300

olgarosana@gmail.com

Mauricio Becerra F.

Universidad Católica
Diagonal 47 #15-50
Bogotá D.C – Colombia
(571) 3-277300

mauriciobecerrafernandez@gmail.com

Milton M. Herrera R.

Universidad Distrital
Carrera 7 No. 40 - 53
Bogotá D.C - Colombia
(571) 3-239300

ingmiltonmauricio@gmail.com

Johanna Trujillo D.

Universidad Católica
Diagonal 47 #15-50
Bogotá D.C – Colombia
(571) 3-277300

trujillojohanna@gmail.com

ABSTRACT

Describing, modeling and analysis using system dynamics based on the growth and underinvestment archetype is by understanding the behavior of the demand for logistics services of storage of goods, as a result of delayed investment, affecting the implementation of the required capacity distribution centers to meet market requirements. The article shows the relationship between the demand for storage infrastructure with the need to adequately address the needs of the market increasingly competitive and growing.

Keywords

System dynamics, growth and underinvestment archetype, logistics, demand, storage capacity and physical infrastructure.

RESUMEN

Mediante la descripción, modelamiento y análisis empleando Dinámica de Sistemas basados en el Arquetipo de Crecimiento y Subinversión, se logra comprender el comportamiento de la

demanda de servicios logísticos de almacenamiento de mercancías, como consecuencia de las inversiones retrasadas, afectando la implementación de la capacidad requerida en los centros de distribución para atender los requerimientos del mercado. El artículo muestra la relación de la demanda de servicios de almacenamiento con la necesidad de infraestructura, para atender adecuadamente las necesidades del mercado cada vez más competitivo y creciente.

Palabras clave

Dinámica de sistemas, arquetipo de crecimiento y subinversión, demanda logística de almacenamiento, infraestructura física y capacidad.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de servicios logísticos en Colombia está evolucionando positivamente, dada la tercerización de operaciones tales como la distribución, almacenamiento y control de inventarios, que tradicionalmente habían estado en cabeza de las propias organizaciones. Adicionalmente, el país posee una posición geográfica estratégica con características especiales para el desarrollo de proyectos tendientes a convertirlo en un interesante centro de consolidación y distribución de productos para la región.

Es así, como los almacenes se convierten en pilar fundamental de la operación logística, actuando como eslabón intermedio entre las plantas de producción y los canales de distribución, de allí la importancia de contar con centros de distribución acordes a las necesidades de los diversos sectores, con un mayor aprovechamiento del espacio disponible, incrementando la eficiencia operativa y la competitividad.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

En ese sentido, el incremento de la demanda de los servicios logísticos requiere el incremento de la capacidad de almacenamiento, la cual debe obedecer a un proceso planificado e implementado de acuerdo con una programación que responda acertadamente a las nuevas necesidades; sin embargo en la práctica, la ampliación, automatización y/o modernización de la infraestructura física de los almacenes, presenta desviaciones frente a la programación planteada, donde la liberación de la inversión requerida se convierte en un aspecto determinante para el desarrollo de proyectos en los tiempos requeridos, que en caso de presentarse desviaciones puede acarrear la insatisfacción del cliente y su posterior impacto en la demanda atendida.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los almacenes logísticos tienen una capacidad limitada, de allí la importancia de maximizar el aprovechamiento del espacio, a través del diseño eficiente de las facilidades y su posterior implementación, de manera que permita responder acertadamente a las necesidades del mercado; sin embargo, dicha capacidad debe estar disponible o debe ser instalada de acuerdo con el crecimiento proyectado, lo cual requiere de inversión para afrontar los nuevos requerimientos, ya que en caso contrario se pueden generar incumplimientos frente a los acuerdos de servicios pactados generando efectos negativos sobre la demanda atendida, por ello es de interés determinar a través de la modelación de dinámica de sistemas, ¿qué ocurre con la demanda de servicios logísticos de almacenamiento cuando por su crecimiento requiere capacidad adicional y por tanto inversión que respalde dicho crecimiento?

3. SERVICIOS LOGÍSTICOS DE ALMACENAMIENTO EN COLOMBIA

De acuerdo con el Banco Mundial, el índice de desempeño logístico permite identificar retos y oportunidades a los que se enfrentan los países en el ámbito de la logística, de acuerdo con los resultados del año 2009, Colombia ocupa el puesto 72 de 150 países evaluados, donde se valora el desempeño relacionado con actividades tales como el transporte, almacenamiento, consolidación de carga y despacho aduanero, entre otras actividades (ver figura 1).

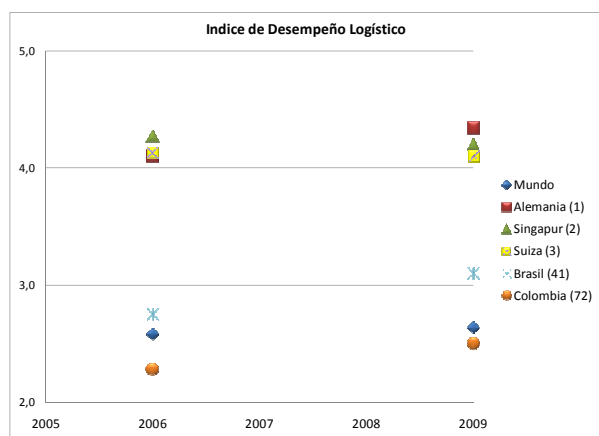


Figura 1. Índice de desempeño logístico

Como se evidencia en la figura 1, Colombia obtuvo en el año 2009 una mejoría en el desempeño logístico con respecto al 2006, sin embargo sigue por debajo de la media mundial y con una clara desventaja con respecto a países como Alemania, Singapur, Suiza e incluso Brasil que ocupa el puesto 41 en el ranking mundial.

Así mismo, el estudio muestra la infraestructura instalada que mejor describe el entorno logístico del país (ver figura 2). Siendo para el caso de Colombia, la infraestructura relacionada con vías y almacenes las más representativas de las operaciones logísticas.

Con relación a la calidad de la infraestructura logística, se mide por la percepción baja o muy baja, que para el caso de Colombia, las que muestran el desempeño más deficiente son las relacionadas con ferrocarriles, vías, puertos y aeropuertos. Al comparar los resultados de Colombia con el promedio de América Latina y el Caribe, es evidente que la percepción negativa del país sobre pasa a la del continente (ver figura 3).

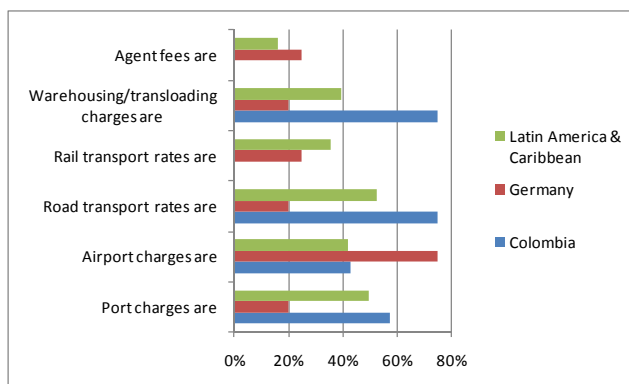


Figura 2. Infraestructura instalada

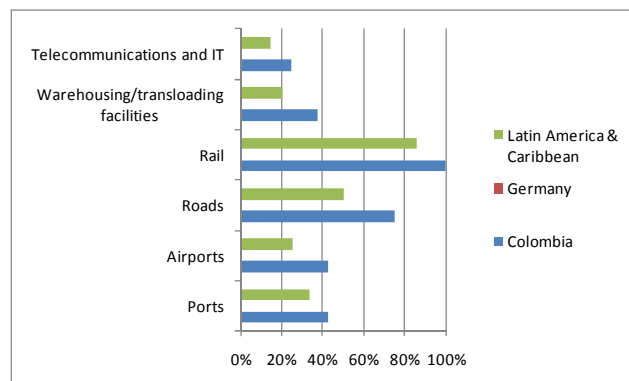


Figura 3. Calidad de la infraestructura (calificada como baja o muy baja)

En cuanto a la competencia y a la calidad del servicio ofrecido en las operaciones logísticas a través de la infraestructura existente medida como alta o muy alta, se observa en el caso de Colombia que el desempeño es muy bajo en servicios como almacenamiento y transporte y que en la mayoría de casos está por debajo del desempeño medio de América Latina (ver figura 4).

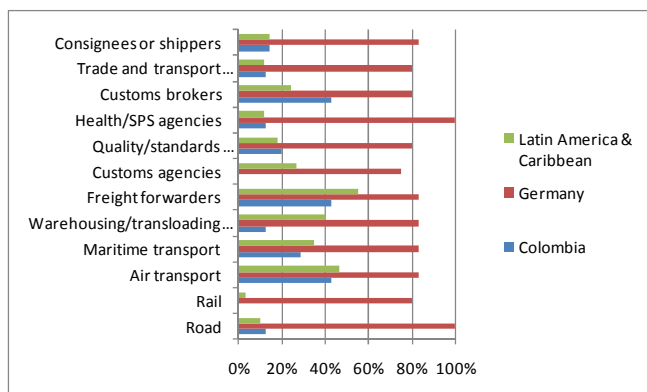


Figura 4. Competencia y Calidad del Servicio

Los resultados anteriores permiten afirmar que a pesar que el almacenamiento de mercancías es una de las operaciones más utilizadas en Colombia, su infraestructura y la calidad del servicio son deficientes.

4. ARQUETIPO DE CRECIMIENTO Y SUBINVERSIÓN [1]

El modelo dinámico de la demanda de servicios logísticos de almacenamiento se aborda a través del arquetipo de crecimiento y subinversión, el cual representa el crecimiento que se aproxima a un límite que puede eliminarse o desplazarse hacia el futuro si se invierte en capacidad adicional, sin embargo, la inversión debe ser intensa y rápida para evitar la reducción del crecimiento.

El principio administrativo se basa en que se debe construir capacidad anticipándose a la demanda, como estrategia para generar demanda (ver figura 5). La estructura está compuesta por tres procesos:

- o Acción de crecimiento.
- o *Proceso de alentamiento*: el crecimiento influenciado por el desempeño.
- o *Proceso de percepción*: en función de los estándares de desempeño y de crecimiento.

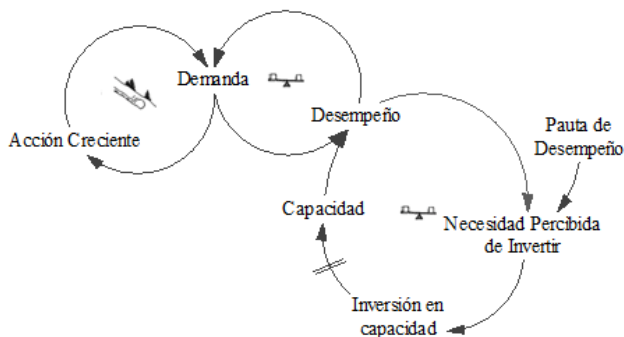


Figura 5. Estructura del arquetipo de crecimiento y subinversión

5. MODELO DINÁMICO DE LA DEMANDA DE SERVICIOS LOGÍSTICOS DE ALMACENAMIENTO

Para el desarrollo del modelo se identificaron los elementos fundamentales del sistema, determinando la estructura de realimentación a través de la programación y su posterior análisis de comportamiento.

5.1 Conceptualización del modelo

El comportamiento de la demanda atendida de servicios logísticos de almacenamiento se ve influenciado por la demanda potencial del mercado y por la pérdida de la demanda como resultado del decrecimiento normal y por los incumplimientos generados al no atender a tiempo los nuevos requerimientos. Dicha atención está sujeta a la disponibilidad de capacidad, la cual a su vez depende de las inversiones que se realicen en infraestructura de acuerdo con la política de inversión aprobada y liberada. Las relaciones anteriores se observan en el diagrama causal del modelo (ver figura 6).

Al analizar el diagrama causal se evidencian dos bucles de compensación y dos de refuerzo, los cuales asocian la interacción de tres niveles: la demanda de servicios logísticos atendida, la capacidad instalada y los requerimientos pendientes que permiten medir el desempeño del sistema.

5.2 Representación del modelo

A través del Diagrama de Forrester se puede observar la interacción de las variables de nivel y auxiliares por medio de las tasas (ver figura 7). Para la parametrización del modelo se emplearon datos obtenidos del estudio de caso del operador Logístico con mayor participación en el mercado colombiano, así como la capacidad disponible y la inversión promedio necesaria por requerimiento (ver tabla 1).

Tabla 1. Información de entrada del modelo

Descripción	Cantidad	Unidad
Capacidad Instalada	500.000	posiciones
Participación actual en el mercado	25	%
Utilización actual de la capacidad	95	%
Inversión por requerimiento	250.000	\$

5.3 Comportamiento del modelo

La simulación del modelo se realizó empleando Vensim® PLE for Windows Version 5.5ª (ver figura 8). La pérdida de la demanda percibida de servicios logísticos se incrementa en la medida que hay incremento del incumplimiento medido a través del resultado alcanzado versus el resultado total esperado. A medida que la capacidad incrementa, los resultados obtenidos y la demanda presentan la misma tendencia, contrario al porcentaje de incumplimientos.

6. RESULTADOS

El modelo dinámico permite explicar el comportamiento sistémico de la demanda de servicios logísticos de almacenamiento, mostrando la evolución de la demanda con relación al desempeño alcanzado, el cual permite evidenciar la limitación por la capacidad instalada como resultado de la inversión realizada (ver figura 9).

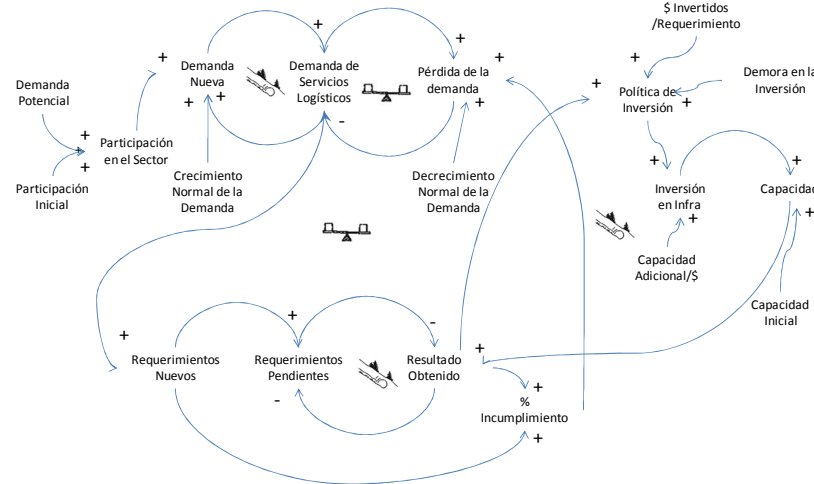


Figura 6. Modelo causal de la demanda de servicios logísticos de almacenamiento

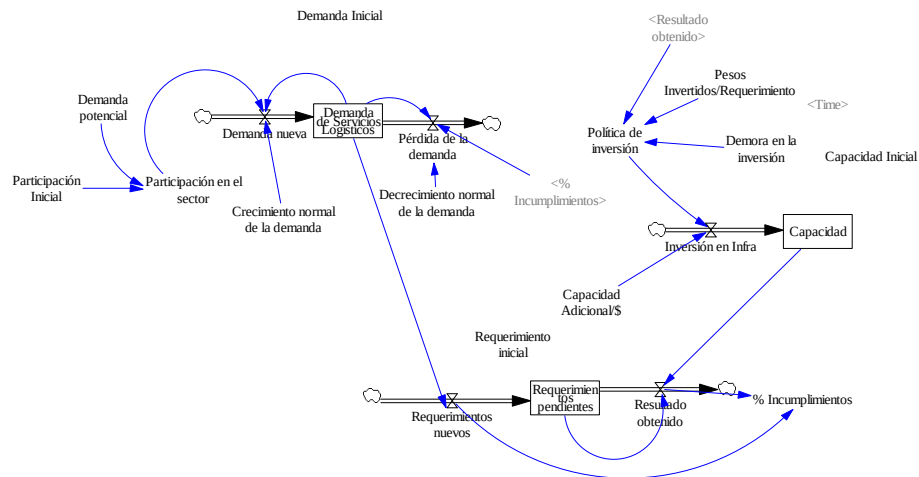


Figura 7. Diagrama de Forrester del modelo de la demanda de servicios logísticos de almacenamiento

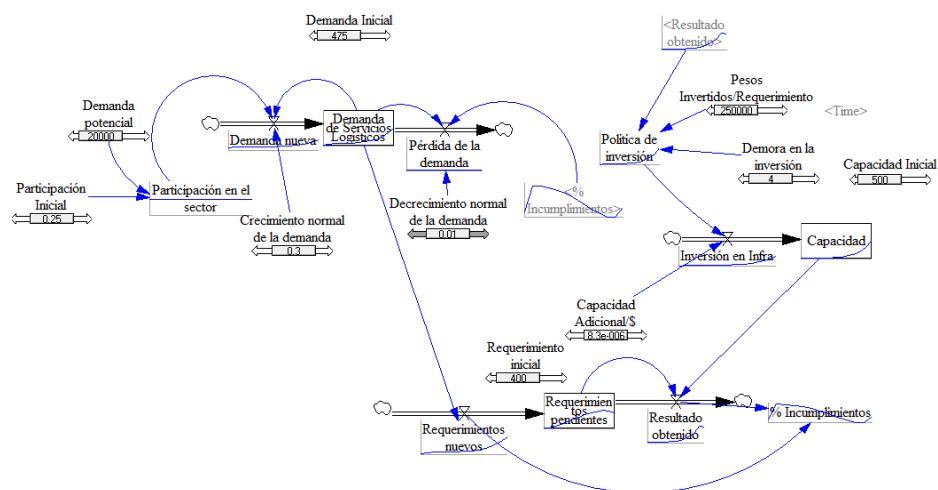


Figura 8. Comportamiento del Modelo de la Demanda de Servicios Logísticos de Almacenamiento

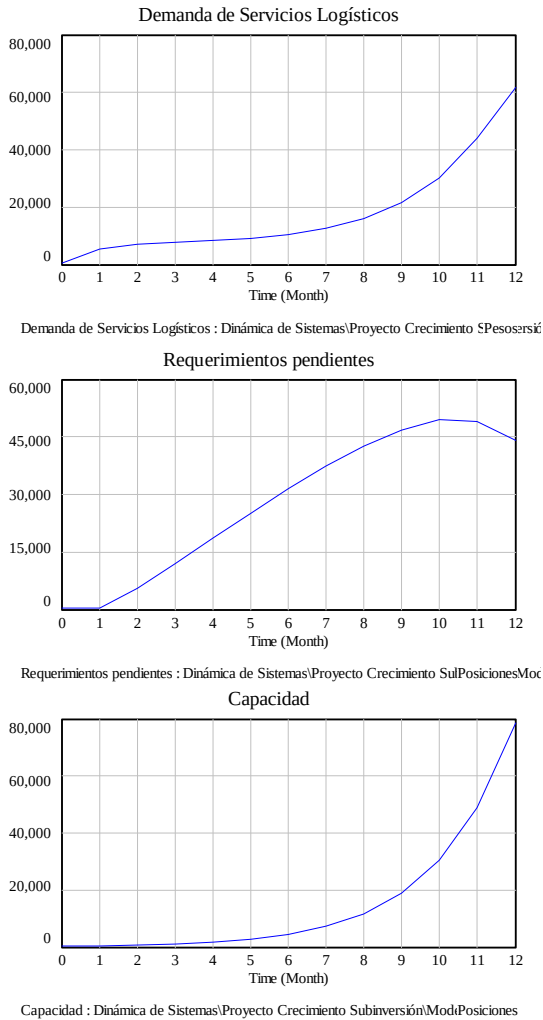


Figura 9. Resultado de las variables de nivel

Al analizar el resultado de las variables de nivel, se encuentra un comportamiento sigmoideal en la demanda, donde inicialmente se produce un decrecimiento; es decir al principio el bucle de realimentación predominante es negativo y posteriormente se presenta crecimiento, limitado al final por un bucle negativo.

Lo anterior obedece a la relación que tiene la demanda con el desempeño del sistema medido a través de los requerimientos pendientes los cuales presentan crecimiento con tendencia al declive y de otra parte la capacidad, la cual se mantiene casi constante durante los primeros meses y posteriormente crece, esto como resultado de la inversión y la demora que presenta (ver figura 10).

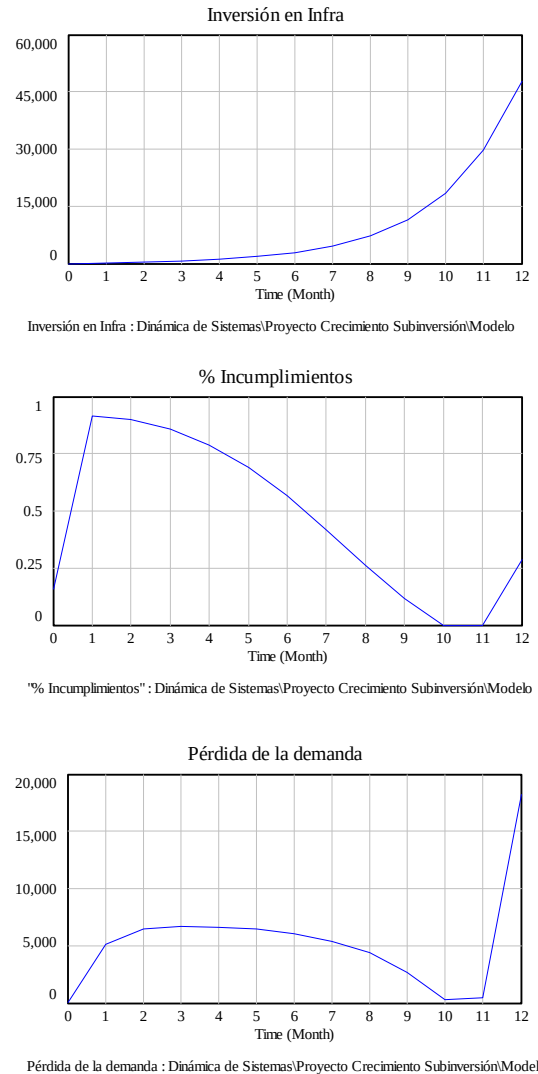


Figura 10. Resultado de las variables auxiliares

Las variables auxiliares explican el comportamiento creciente de la capacidad como resultado de la inversión en infraestructura y a su vez reflejan el incumplimiento durante los primeros meses en la atención de los requerimientos lo cual incide sobre la pérdida de la demanda y un crecimiento moderado en los resultados obtenidos que repercuten en el incremento de la demanda percibida.

También se evidencia como el incremento de del incumplimiento de los requerimientos recibidos en los meses 11 y 12 repercute sobre la pérdida de la demanda por una clara disminución de los resultados obtenidos.

7. CONCLUSIONES

El modelo desarrollado a través de dinámica de sistemas y los resultados obtenidos, permiten representar situaciones reales de manera ágil, segura y económica, facilitando los procesos de diseño, análisis y control, aspectos que son favorables en la toma de decisiones en el campo de la logística, por la rapidez y flexibilidad que requieren sus procesos.

La logística en Colombia tiene un gran potencial, a través del desarrollo de estrategias diferenciadoras que repercutan en el mejoramiento de las medidas de desempeño, lo anterior permite identificar la necesidad de investigación a través de disciplinas como la dinámica de sistemas, que como se evidencia en este

trabajo, permite explicar el comportamiento de las distintas variables a lo largo del tiempo como resultado de sus interacciones, detalles que normalmente son obviados y que repercuten en la efectividad de las decisiones tomadas.

8. REFERENCIAS

- [1] SENGE, P. La Quinta Disciplina en la práctica como impulsar el aprendizaje en una organización inteligente ,Ed Juan garnica, España. 1998
- [2] ARACIL Santoja Javier: Introducción a la Dinámica de Sistemas. Editorial Alianza, Madrid, 1986.
- [3] FORRESTER Jay W: Dinámica Industrial. Editorial Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- [4] GORDON Geoffrey: Simulación de Sistemas. Editorial Diana, Sexta Edición, México, 1991.
- [5] MANUAL de Vensim: User's Guide Versión 1.62. Ventana Sitems 1995.
- [6] The World Bank. Connecting to Compete. The Logistics Performance Index and Its Indicators. 2010.
- [7] Herrera R., M. M. and Becerra M., (2010). Perspectiva de gestión de tecnología en redes logísticas. 8º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Medellín: Colombia.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

El impacto e implicaciones de la desintermediación en la gestión de la cadena de suministro. Un enfoque holista

Oscar Rubiano Ovalle PhD

Universidad del Valle

oscaruba@pino.univalle.edu.co

Giovanny Bulla Hernández

Universidad del Valle

ing.bulla@gmail.com

RESUMEN

El objetivo fundamental de este artículo es presentar los resultados del estudio del impacto de la eliminación de los intermediarios en la gestión de la cadena de suministro (GCS). Con el objeto de caracterizar los procesos de desintermediación que se pueden llevar a cabo en la cadena de suministro, se realizó un estudio de simulación con Dinámica de Sistemas. El estudio contiene un modelo construido para simular configuraciones resultantes de la reducción del número de niveles o etapas en la cadena. Los resultados permiten medir las mejoras en los rendimientos operativos y financieros de la cadena de suministro, como una consecuencia de la mejora en los flujos de información y en los flujos de bienes físicos.

ABSTRACT

The main objective of this paper is to present the results of the impact of the elimination of intermediaries in the supply chain management (SCM). In order to characterize the processes of disintermediation can be carried out in the supply chain, we performed a simulation study with system dynamics. The study contains a model built to simulate configurations from reducing the number of levels or stages in the chain. The results allow us to measure improvements in operational performance and financial supply chain as a consequence of improved information flows and physical flows.

Palabras Clave

Cadenas de Suministro, Desintermediación, operadores logísticos, Simulación, Dinámica de Sistemas.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la nueva definición de “Council of Logistics Management” (2003), la gestión de la cadena de suministro (acuñado en inglés como Supply Chain Management, SCM), “comprende la planeación y gestión de todas las actividades de adquisiciones y compras, conversión, y de gestión de logística. Incluye también la coordinación y colaboración entre niveles o etapas, los cuales pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de logística y clientes. Esto incluye todos los esfuerzos cooperativos entre los miembros de la Cadena de Suministro, para alcanzar un mayor conocimiento del mercado, mediante la tenencia de una información conjunta y más precisa del mercado, la investigación de productos, el desarrollo y diseño de productos, y el análisis de valor del sistema total (Chopra 2001, Ballou 2004, Baudin 2004, Cohen and Huchzermeier 2000, Jiménez y Hernández 2002). Esta red de suministro puede convertirse en una ventaja competitiva sumamente poderosa para las organizaciones industriales; es evidente que en realidad, la competencia real ya no es compañía vs. Compañía, sino CS vs. CS (Christopher 1992), si se desea contrarrestar el impacto del efecto bullwhip y entregar niveles de servicio competitivos a los clientes (Dejonckheere et al. 2004). En la nueva economía o economía digital (e-economy), el surgimiento del comercio electrónico trae consigo una acentuada transformación de los sistemas de producción, comercialización y distribución de bienes y servicios. Uno de los principales efectos, es la desintermediación o eliminación de los intermediarios en la cadena de suministro, también llamada “recorte de los intermediarios” (del inglés, cutting out the middlemen) (Barry et al. 2001) (Franco et al. 2007) (Jallat and Capek 2001) (Landström and Dagman 2004).

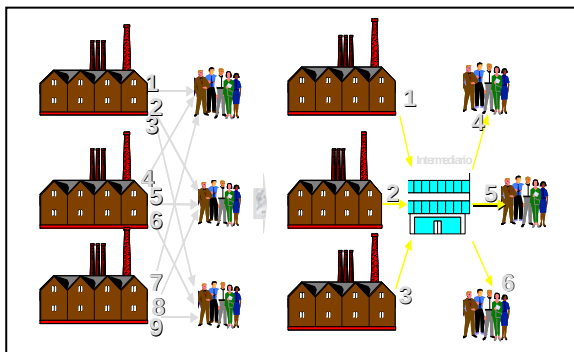
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE LAS TEORÍAS DE LA INTERMEDIACIÓN Y LA DESINTERMEDIACIÓN

A pesar de la relevancia de estos conceptos en la gestión de la CS, estos han sido abordados por relativamente pocos investigadores.

2.1 Los intermediarios

Bien es sabido que estos son los niveles del canal o de la cadena, que en el modelo tradicional, operan entre el fabricante y los clientes finales, para facilitar las transacciones y ejerciendo funciones fundamentales que agregan valor tanto al fabricante como al consumidor, como búsqueda y evaluación del producto o servicio a menor costo, asesoría en la definición de necesidades e información de características del producto o servicio al cliente, comunicación de preferencias del consumidor, cubrimiento de los riesgos de impago y de los productos, y la distribución misma del producto (<http://www.j.duran.8m.com>, 2011).

La influencia del intermediario en los costos por contactos en este proceso fue examinada formalmente por Baligh y Richartz (1967), quienes analizaron una economía con m proveedores y n clientes, mostrando que el intermediario reduce el número de posibles contactos entre todos los socios comerciales de nm a $n+m$ (figura 1).



Número de contactos: $3 \times 3 = 9$ Número de contactos: $3 + 3 = 6$

Figura 1. Cómo un Distribuidor Reduce el Número de Transacciones del Canal

Además de facilitar la satisfacción de proveedores a clientes finales, un intermediario puede proporcionar algunos servicios adicionales, como evaluación y categorización de los productos, confianza (Delfmann, 2002), aseguramiento de calidad, (Giaglis 2002) (Kotler et al. 2008) y ejecución de transacciones del mercado (Hacket 1992, Vazques y Trespalcios 2006). Una fuente de valor adicional que surge de un intermediario es el desarrollo y aplicación de una descripción simple y estandarizada del producto para su fácil comercialización (Williamson 1975), esto es por la simplificación de la evaluación y comparación de productos alternativos, y porque, en el caso de economías de escala puede ganar ventajas tanto para proveedores como para clientes en el mercado.

2.2 La teoría de eliminación de los intermediarios (Desintermediación)

Los factores tan relacionados con la globalización de las economías, como reducción de aranceles, evolución de las tecnologías de la información, la comunicación, el transporte,

etc., que directamente inciden en las políticas mundiales y en las exigencias de globalización impuestas a las firmas, exigen revisar las configuraciones actuales de la cadena de suministro y la forma de gestión de la misma. Surge entonces el concepto de desintermediación, como el desplazamiento o eliminación de los intermediarios del mercado, permitiendo el comercio directo entre fabricantes y consumidores, sin agentes, y transfiriendo la propiedad del producto sólo al cliente final (Wigand, 1997). Se estima que en mercados como el Norteamericano, el 28% de las compras de automóviles se realiza a través de Internet, favoreciendo a fabricantes y clientes finales, quienes se entienden directamente a mejores precios (Competir.com, 2011). Sectores con esta tendencia son: automóviles, computadores, artículos electrónicos, etc. La “desintermediación” trae como resultado una redistribución de las actividades y las utilidades a lo largo del sistema de valor, representada en ahorros para los clientes finales (que es quien en últimas paga), así como una mayor variedad de productos y servicios a su disposición.

3. MODELADO DE LA CADENA DE SUMINISTRO ACTUAL

A continuación se presentan, la configuración de la cadena de suministro estudiada figura 2, las variables y el diagrama causal figura 3 del modelo que representa una cadena de suministro del negocio de pañales de un fabricante Chileno, la cual consta de 3 intermediarios nombrados como Distribuidor, Mayorista y Minorista. En este modelo de simulación con Dinámica de sistemas, para cada organización, se consideran dos variables de estado para el flujo físico, los niveles de trabajo en proceso y los niveles de inventario de partes terminadas enfrente de la próxima compañía aguas abajo (cliente). Para el flujo de información, se consideran dos únicas variables de estado: los pedidos no satisfechos a tiempo, y los pedidos no lanzados a producción a tiempo (backorders).

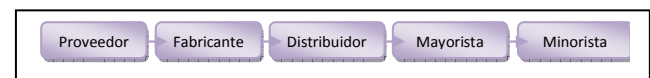


Figura 2. Configuración de la cadena de suministro estudiada

Para el modelo, y de acuerdo a la demanda final observada en el sistema, en la semana t , esta se asume determinista y variable en el tiempo y se modela como una función no lineal. Los pedidos colocados por la organización $i+1$, son registrados por la organización i , después del tiempo de retraso *Procesamiento de pedidos* ^{$i+1$} .

Los pedidos recibidos por la organización i en la semana t , *Pedidos* _{t} - *Procesamiento de pedidos* _{$i+1$} ^{$i+1$} , se satisfacen de forma inmediata. Los despachos realizados por parte de la organización i en el período t , dependen de los pedidos recibidos y el inventario disponible de la organización i . En cada semana, pueden aparecer limitaciones de inventario que podrían reducir la cantidad de pacas disponibles *Inventario* _{t} ^{i} , y en consecuencia la disminución de despachos *Despachos* _{t} ^{i} , a la siguiente organización.

Cuando las restricciones del inventario limitan el flujo de materiales de la organización i a la organización $i+1$, una parte de las órdenes de la organización $i+1$ puede no ser satisfecha a

tiempo; tales órdenes permanecerán como órdenes pendientes de entrega en la organización. Para el caso de la cadena de suministro actual, las pacas de pañales no satisfechas a tiempo ya no serán esperadas por los clientes; por lo tanto nunca serán satisfechas, excepto para la organización proveedor en la cual se asume que tiene en cuenta el pendiente de despacho y en donde el fabricante espera la recepción de dicho pendiente. Los inventarios serán disminuidos de acuerdo a las órdenes satisfechas a los clientes, y aumentados de acuerdo a la tasa de llegadas de productos. El modelo financiero es tomado de Rubiano (2003).

La figura 3, muestra las relaciones de causalidad generadas por la interacción de las organizaciones de la cadena de suministro, para el caso de la cadena de suministro actual, la cual, no está gestionada con políticas de pronósticos ni de inventarios sistemáticas como se mostrará más adelante en esta publicación.

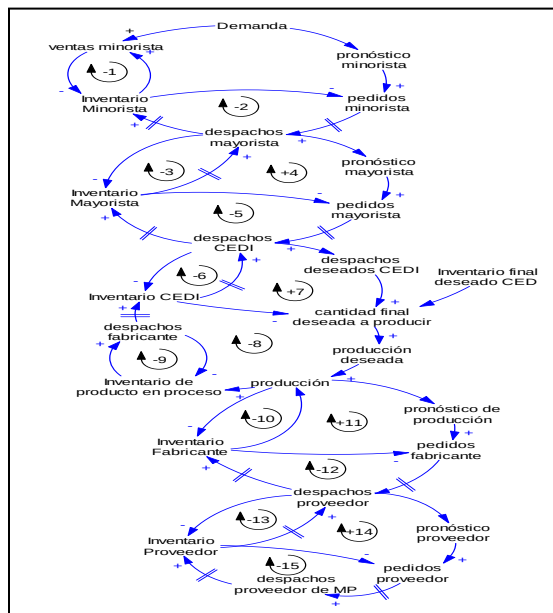


Figura 3. Diagrama causal de la cadena de suministro totalmente intermediada actual

4. MODELADO DE LOS NIVELES DE DESINTERMEDIACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

En esta publicación se estudian tres configuraciones (figura 4) generadas por niveles de desintermediación en la cadena de suministro, que van desde una intermediación total, hasta una desintermediación total. Antes, se caracteriza la cadena de suministro actual, nombrada como nivel 0, no incluida formalmente en la figura 4, debido a que en este mismo trabajo, para su gestión, se propone una mejora inicial en lo relacionado con la forma de proyectar la demanda y la política de inventarios, antes de desintermediar. Es por esta razón que a la configuración presentada como nivel 1 en la figura 4, se le llama cadena de suministro totalmente intermediada gestionada señalando una mejora a la configuración original.

4.1 Nivel 0: Cadena de suministro totalmente intermediada actual (CSTIA)

En esta configuración original del sistema, hay un alto nivel de intermediación, se realizan transacciones comerciales en secuencia en la cadena de suministro, existiendo incluso, prácticas de pedidos no sistemáticas, basadas en un promedio móvil de tres semanas, y políticas de inventarios basadas en un inventario deseado, calculado como un porcentaje de las ventas proyectadas a 8 semanas en cada uno de los niveles, con base en las cuales toman decisiones individuales de ordenar y de llenado del canal. Cada etapa de la cadena, maneja sus propias relaciones con proveedores de transporte y de almacenamiento. Los canales de comunicación son tradicionales, y se centran más en la transmisión de pedidos y realimentación sobre el estado de los mismos.

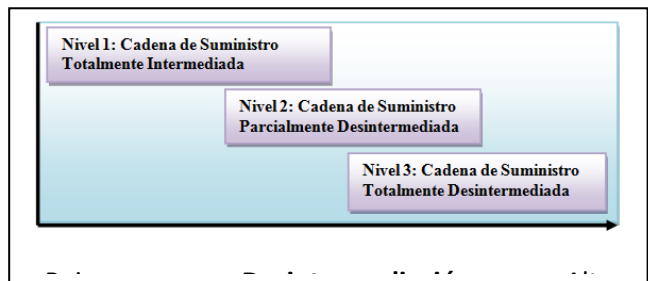


Figura 4. Niveles en la extensión de la desintermediación de la cadena de suministro

4.2 Nivel 1: Cadena de suministro totalmente intermediada gestionada (CSTIG)

En esta configuración, las políticas de inventarios en cada uno de los niveles, son formales para tomar decisiones individuales del nivel de servicio a cada cliente y de llenado del canal. Los canales de comunicación son tradicionales, y se centran más en la transmisión de pedidos y retroalimentación sobre el estado de los mismos. La figura 5 muestra el diagrama causal para la organización i , en esta configuración, se muestra la diferencia en el modelado, con respecto a la configuración original o actual, la cual es que se formaliza un método de pronóstico de la demanda (no de los despachos), y se considera la inclusión de los backorders en las organizaciones diferentes al detallista.

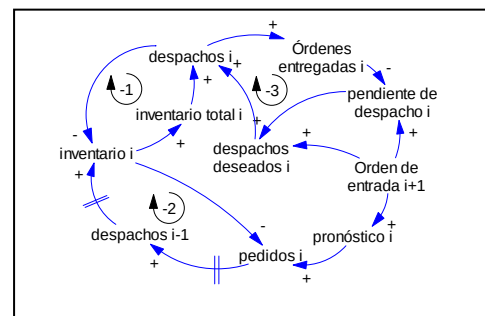


Figura 5. Diagrama causal de la cadena de suministro totalmente intermediada gestionada.

4.3 Nivel 2: Eliminación de Mayoristas: Cadena de suministro parcialmente desintermediada (CSPD)

En este nivel el consumidor final adquiere la variedad de productos en el minorista, que luego son repuestos por parte del Distribuidor en forma directa. Las referencias, las cantidades y los momentos de reposición, son informados al Distribuidor vía EDI o vía Internet por parte del Minorista.

4.4 Nivel 3: Eliminación de Distribuidores y Mayoristas: Cadena de suministro totalmente desintermediada (CSTD)

En este nivel, el consumidor final adquiere la variedad de productos en el minorista, que luego son repuestos por parte del fabricante, a través del operador logístico. Los envíos a los minoristas se realizan normalmente en forma directa, si el volumen lo justifica, o mediante la estrategia Cross Docking si los términos de la asociación lo explicitan.

5. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS INICIAL

La simulación inicial se caracterizó por comparar la CSTIA y la CSTIG a partir de indicadores operativos como lo son: los despachos promedio y los inventarios promedio del sistema.

En la estructura CSTIA se presentan bajos niveles de pedidos realizados por las organizaciones aguas abajo debido a su pronóstico con respecto a los despachos realizados, ocasionando que los despachos del sistema sean bajos e inestables en las primeras 13 semanas. En la CSTIG se observa que la tendencia en los despachos realizados es mayor y presenta además una mejor estabilidad, debido a que las previsiones de demanda se realizan respecto a las órdenes de entrada de la organización aguas abajo, eliminando sesgos en los pronósticos figura 6.

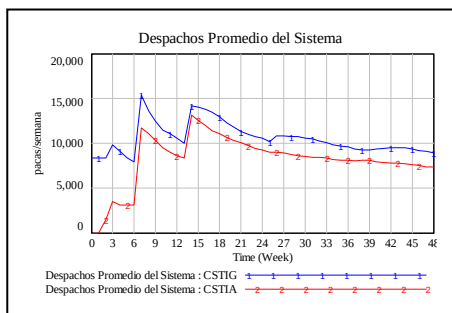


Figura 6. Despachos promedio del sistema

La evolución del inventario promedio en la CSTIA y en la CSTIG a pesar de ser muy similares en las primeras 18 semanas, se observa, que a partir de la misma, la CSTIG alcanza un nivel de estabilización lenta, mejor que la CSTIA, a pesar de que se usan períodos de planificación cortos; mientras que la CSTIA no alcanza dicha estabilización en el horizonte de tiempo simulado figura 7.

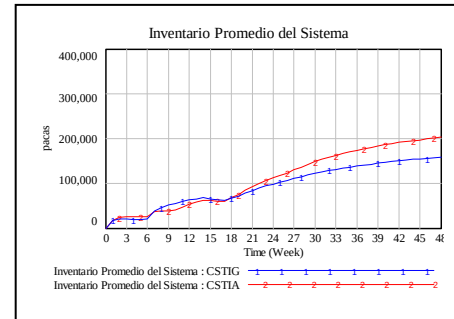


Figura 7. Inventario promedio del sistema

Complementariamente, se evaluaron tres aspectos de medición del rendimiento. Ellos son, dos medidas de la eficacia: las ventas acumuladas figura 8, y los órdenes pendientes por satisfacer figura 9, y una medida de la eficiencia global: el nivel de servicio figura 10.

Se observa que la trayectoria seguida por las ventas acumuladas en la CSTIG presenta mayores niveles durante las 48 semanas.

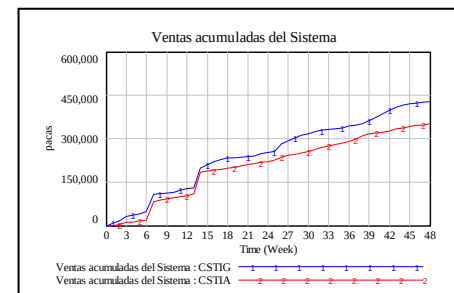


Figura 8. Ventas acumuladas del sistema.

Las órdenes pendientes por satisfacer del sistema en la CSTIG presenta menos roturas de inventarios, o mejor, mantiene un nivel “normal” de pedidos pendientes a partir de la semana 18.

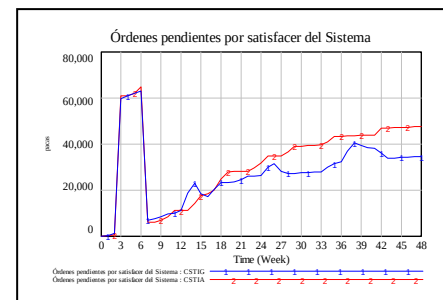


Figura 9. Órdenes pendientes por satisfacer del sistema

En la CSTIG el sistema ofrece una mayor eficiencia relativa en relación al porcentaje de órdenes recibidas de los clientes satisfechas a tiempo, el decir el porcentaje de veces que la totalidad de las órdenes recibidas por período fueron satisfechas inmediatamente por el sistema.

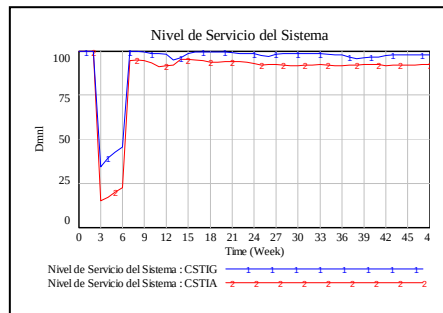


Figura 10. Nivel de servicio del sistema

Por la estructura deducida de la naturaleza de los dos escenarios estudiados, y por los resultados obtenidos, podría decirse que, a pesar de los supuestos realizados, reflejan en gran medida los eventos que se podrían presentar en caso real. El escenario actual es un sistema que no ofrece mayores garantías para la realización de una planificación de los flujos de materiales con alto grado de eficiencia y eficacia, a pesar de que en la realidad la cadena de suministro estudiada se maneja de esta manera. El escenario gestionado, ofrece menos dudas a la hora de implementarlo, aunque su administración es mucho más exigente. Ahora, debido fundamentalmente al mejor rendimiento, el escenario gestionado (CSTIG) es el escenario que se decide desintermediar en la cadena de suministro.

6. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS FINAL

Para la validación de los patrones de comportamiento de las principales variables del modelo, se estudian ahora una serie de resultados cualitativos preliminares para las estructuras: CSTIG, CSPD y CSTD. La cadena de suministro se conforma de cinco organizaciones en línea, a partir de las cuales, la cadena entrega productos al cliente final y donde se asignan parámetros operativos (lead time, tiempos de retraso, etc.)

Más detalles del modelo son: La demanda de los clientes es determinista conocida. El tiempo de demora en la llegada y procesamiento de las órdenes es una semana en todas las organizaciones, excepto entre Fabricante y Proveedor, que es de 12 semanas. Los stocks de seguridad se estiman para alcanzar niveles de servicio (% de órdenes entregados a tiempo) cerca del 95% en cada nodo.

Tabla 1. Parámetros de la simulación

Parámetros	Proveedor	Fabricante	CEDI	Mayorista	Minorista	Unidad
Operativos						
Stock de seguridad	1	6	2	1	1	Semana
Tiempo formación expectativas	1	24	8	8	8	Semana
Procesamiento de pedidos	1	1	1	1	1	Semana
Financieros						
Precio de venta	50.000	105.000	105.000	177.500	255.000	\$paca
Período de cobro	2	2	2	2	2	Semana
Margen	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	Semana

A continuación se detallan los gráficos que muestran el impacto que tiene la demanda en la cadena de suministro sobre las

variables de las órdenes, del flujo de materiales, y sobre algunas medidas de rendimiento financiero del sistema. La figura 11 muestra los pedidos realizados por el fabricante en las tres estructuras en estudio, la diferencia principal radica en los pedidos realizados por el fabricante en el escenario gestionado dado que la producción deseada para la cadena de suministro gestionada es mucho mayor al tener todos los intermediarios afectando la cadena, ocasionando que los pedidos realizados cada 12 semanas sean mayores en las primeras 12 semanas para poder suplir la provisión realizada de consumo de material

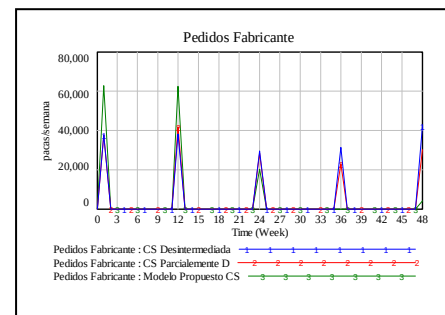


Figura 11. Pedidos realizados por el fabricante

La figura 12, muestra los despachos realizados por el fabricante en las tres estructuras en estudio. En el escenario gestionado y en la cadena de suministro parcialmente desintermediada se observa que los despachos realizados son los correspondientes a la producción, sin tener en cuenta los pedidos realizados por la organización aguas abajo de la cadena de suministro. Caso contrario a la cadena de suministro totalmente desintermediada, la cual tiene en cuenta los pedidos realizados en este caso por el minorista notándose que entre las tres estructuras, es la de la cadena totalmente desintermediada la que realiza mayor número de despachos en la mayoría de las semanas dentro del escenario de simulación.

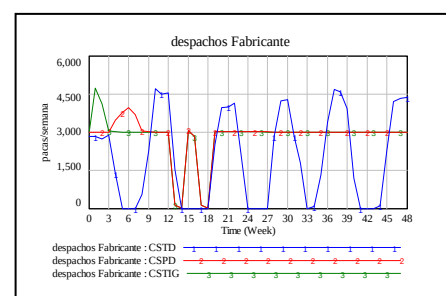


Figura 12. Despachos realizados por el fabricante

La figura 13, muestra la manera como el inventario promedio del sistema disminuye a medida que se realiza un proceso de desintermediación de la cadena de suministro, se observa que en la CSTIG al tener un mayor número de intermediarios tiene por tanto un mayor nivel en el número de pacas en el sistema, donde al eliminarlos (mayorista y distribuidor) se muestra una disminución de cerca del 33% en el caso de la CSPD y la CSTD.

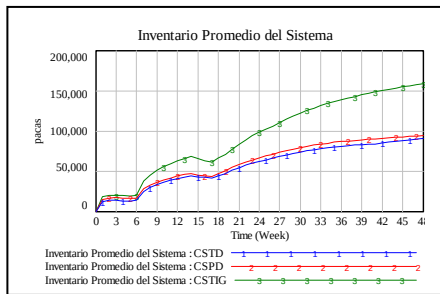


Figura 13. Inventario promedio del sistema

La figura 14, muestra las órdenes pendientes por satisfacer del sistema, se producen pendientes por despachar en los tres escenarios. Al analizar conjuntamente con la figura 13, se observa que a pesar de los altos niveles de inventario de la cadena gestionada, no es la que menos pendientes de despacho tiene. Los pendientes de despacho se deben principalmente por las órdenes de producción no satisfechas a tiempo debido a las roturas en los inventarios del fabricante para los tres escenarios en estudio.

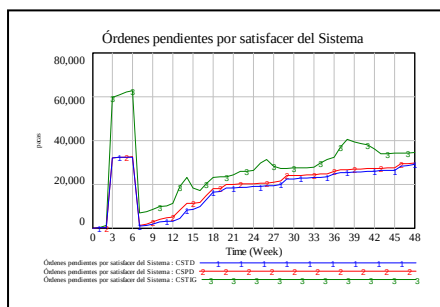


Figura 14. Órdenes pendientes por satisfacer del sistema

La medida del nivel de servicio tabla 2 (porcentaje de órdenes recibidas de los clientes y satisfechas a tiempo, es decir el porcentaje de veces que la totalidad de las órdenes recibidas por período fueron satisfechas inmediatamente por la CS), aumenta; lo cual significa que la calidad del servicio ofrecida a los clientes, esto es, la eficiencia de la CS, aumenta con la desintermediación de la CS. Esto significa que, el desintermediar la cadena, permite que las organizaciones reacciones más rápido a los cambios de la demanda, manteniendo y enviando materiales más rápidamente, y conservando un nivel de servicio mejor

Tabla 2. Resultado medidas operativas globales

Nivel de desintermediación				
Medida	CSTIA A	CSTIG	CS PD	CS TD
Nivel de servicio (%)	92,26 %	95,53 %	97,38 %	97,43%
Necesidades de normalizadas (\$B)	Medias fondos 2,13	1,93	1,17	1,0

Igualmente, las necesidades medias de fondos de funcionamiento, son superiores cuando no existe desintermediación de la cadena de suministro, es decir, hay mayores inversiones medias, fundamentalmente en inventarios

La figura 15, muestra los resultados sobre las órdenes colocadas por cada organización. Estos resultados permiten generalizar, para toda la cadena, por un lado, la reducción gradual en la amplificación de la demanda a medida que aumenta la desintermediación de la cadena; y por otro lado, la diferencia entre la CS parcialmente desintermediada y la CS totalmente desintermediada a favor de ésta última, la cual ofrece menos volatilidad en las cantidades a lanzar. Los resultados indican también que, el efecto bullwhip se contrarresta por una parte por el efecto de la desintermediación, y por otro lado, por la reducción de órdenes transmitidas a lo largo del sistema.

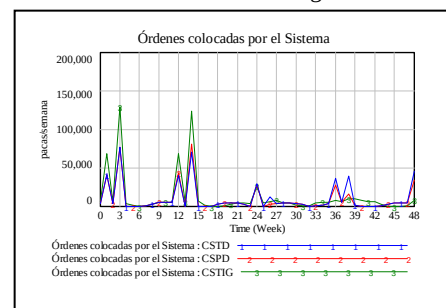


Figura 15. Órdenes colocadas por el sistema

La tabla 3, incluye una importante diferencia entre el nivel de desintermediación y la no desintermediación de la cadena de suministro. La desintermediación, da la posibilidad de mejorar las expectativas de los clientes con respecto a la satisfacción de las órdenes por parte de la CS. Se validan aquí los resultados de la tabla 2, es decir, un proceso de desintermediación proporciona una alta eficacia, notándose ligeramente menores atrasos en la estructura desintermediada. Esta eficacia se obtiene a través de una mejor visión y capacidad de planificación de necesidades del sistema al estar más cerca de la demanda del consumidor final.

Tabla 3. Resultado de las órdenes pendientes de entrega acumuladas de los sistemas para las 48 semanas

Nivel de desintermediación	de Órdenes pendientes promedio (pacas)
CSTIA	32,418
CSTIG	27,525
CSPD	19,410
CSTD	18,140

Otros impactos de la desintermediación de la cadena de suministro son, en primer lugar, la generalización con respecto a la obtención de unos niveles de inventario uniformes tabla 4. El comportamiento resultante de los inventarios favorecen aún más a las organizaciones más cercanas a los clientes finales de la cadena, mostrando una mayor mejora de la eficiencia (una mejores inversiones en inventarios), las cuales son los que más se benefician de cualquier mejora por mínima que sea, es estos

aspectos. Entre las estructuras de desintermediación, la CSTIG ofrece la menor variabilidad del inventario a mano.

Tabla 4. Resultados inventario promedio del sistema

Nivel desintermediación	Min. (pacas)	Max. (pacas)	Media (pacas)	Desviac. Std.
CSTIA	18,000	312,512	204,127	110,686
CSTIG	28,554	263,000	170,077	78,104
CSPD	22,509	160,063	101,888	41,554
CSTD	19,509	156,045	98,688	40,971

Complementariamente a la tabla 4, la figura 16 muestra el comportamiento de los inventarios totales (producto en proceso + productos finales) del sistema. Este comportamiento corrobora las ventajas mencionadas sobre la administración de los inventarios en la cadena de suministro a medida que se avanza en las fases de desintermediación.

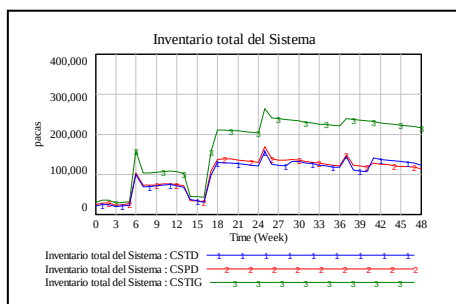


Figura 16. Inventario total del sistema

Finalmente, en la tabla 5, se muestra que la CSTIG es mucho más vulnerable que la CSPD y la CSTD, en términos del costo de inventario acumulado. La estructura desintermediada presenta los mejores resultados. Estos resultados son particularmente importantes para la industria del pañal donde el tiempo para comercializar el producto en el mercado (en jerga técnica inglesa: time to market), o tiempo para lograr un determinado volumen (time to volume), es una ventaja competitiva.

Tabla 5. Resultado de los costos de inventario acumulados globales normalizados por sistema

Nivel de desintermediación				
Medida	CSTIA	CSTIG	CSPD	CSTD
Costos de inventario globales acumulados normalizados	2,46	2,03	1,22	1,0

7. CONCLUSIONES

Para lograr la obtención de unos resultados confiables que sustentaran estas conclusiones, en esta publicación, se buscó la construcción de los escenarios en un mismo marco de referencia; de tal manera que, hubiese consistencia en los pasos de mejora de la desintermediación y se garantizara que tales mejoras fuesen totalmente relativas.

En este estudio, se analizó la evolución de las variables fundamentales de flujo de materiales y de información para diferentes niveles de desintermediación de la cadena de suministro, donde se compararon los diferentes escenarios cuando ambos sistemas operaban con las mismas condiciones iniciales

En el estudio de la cadena de suministro seleccionada se observó la necesidad de poner en práctica los avances en la forma de gestionar las cadenas de suministro, en lo relativo a la previsión de la demanda a lo largo de toda la cadena, y a la formulación de políticas sistemáticas y sistémicas de inventarios

A medida que se avanza en el proceso de desintermediación de una cadena de suministro, mejora la eficiencia (cumplimiento en entregas) y la eficacia (servicio al cliente) en términos generales es la misma.

En una cadena de suministro totalmente intermediada por distribuidores y mayoristas, difícilmente logran un flujo equilibrado de materiales y financiero. Al simular las fases de desintermediación, las necesidades medias de fondos de funcionamiento, se redujeron gradualmente en el sistema casi en un 50%

Los sistemas desintermediados de la cadena de suministro presentan rendimientos de eficacia (ventas) y eficiencia (nivel de servicio) similares a los de los sistemas intermediados, sin embargo es el nivel de inventario y los backorders los que generan una gran diferencia para bien, en los sistemas desintermediados.

8. REFERENCES

- [1] BALLOU, Ronald. Administración de la cadena de suministro. Editorial Prentice Hall. 5ª edición. 2004.
- [2] BAUDIN, Michel. Lean Logistics. The nuts and bolts of delivering materials and goods. Productivity Press. 2004.
- [3] BALIGH, H.; RICHARTZ, L.: Vertical Market Structures, Allyn and Bacon, Boston, Mass., 1967.
- [4] CHOPRA, Sunil., MEINDL, Peter. Administración de la cadena de suministro. Editorial Prentice Hall. 3ª edición. 2001.
- [5] COHEN, M.A., HUCHZERMEIER. 2000. Global Supply Chain Management: A Survey of Research and Applications.
- [6] Competir.com. <http://www.mujeresdeempresa.com/ebusiness/ebusiness040401.shtml>. Consultado el 10 de julio de 2011.
- [7] Council of Logistics Management. 2003.
- [8] CRISTOPHER, M. 1992. Logistics and supply chain management. London: Pitman Publishing.
- [9] BARRY LAWRENCE, F., JENNINGS, Daniel F., RAMASUBRAMANIAN NARAYAN, STADING, Gary L., VORUKA, Robert J., ZANK, Gail M. Alternative channels of distribution e-commerce strategies for industrial manufacturers. Texas A&M University, college Station. 2001.

- [10] DEJONCKHEERE, J.; DISNEY, S.M.; LAMBRECHT, M.R.; TOWILL, D.R. (2004) The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: a control engineering perspective. *European Journal of Operational Research*. Vol.153, Number 3, pp.727–750.
- [11] DELFMANN, W., ALBERS, S., & GEHRIN, M. (2002). The impact of electronic commerce on logistics service providers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- [12] FRANCO PEREYRA, Rubén D., GIL PECHUÁN, Ignacio, NAVARRO VARELA, Rosa I. El riesgo de desintermediación de las Agencias de Viajes como consecuencia de los canales de distribución electrónicos. Dpto. de Organización de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad. Universidad Politécnica de Valencia. 2007.
- [13] GIAGLIS, George M., KLEIN, Stefan, O'KEEFE, Robert M. The role of Intermediaries in Electronic Marketplaces: Assessing Alternative Hypotheses for the Future. *The Journal Information Systems Journal*. 2002.
- [14] HACKET, S.: A comparative analysis of merchant and broker intermediation, in: *Journal of Economic Behavior and Organization*, 18 (1992), 299-315.
- [15] <http://www.j.duran.8m.com>. Consultado el 10 de julio de 2011.
- [16] JALLAT, Frédéric, CAPEK, Michael J. Disintermediation in question: New economy, New Networks, New Middlemen. *Business Horizons*. 2001.
- [17] JIMÉNEZ SÁNCHEZ, José E., HERNÁNDEZ GARCÍA, Salvador (2002). *Marco Conceptual de la Cadena de Suministro: Un Nuevo Enfoque Logístico*.
- [18] KOTLER, Philip., ARMSTRONG, Gary. *Fundamentos de Marketing*. Editorial Prentice Hall. 8ª edición. 2008.
- [19] LANDSTRÖM, Fredrik, DAGMAN, Karl-Henryk. (2004). *Intermediaries Handling Disintermediation, Due to the Changing Business Environment of e-Commerce*.
- [20] RUBIANO O. 2003. Mejora del Rendimiento Operativo y Financiero de las Cadenas de Suministro mediante el uso de las Herramientas de Colaboración basadas en Internet. Un enfoque Sistémico. *Ingeniería y Competitividad*. 4(2). 34-41. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- [21] VÁZQUEZ CASIELLES, Rodolfo, TRESPALACIOS GUTIÉRREZ, Juan A. Estrategias de distribución comercial – Diseño del canal de distribución y relación entre fabricantes y detallistas. Thomson. 2006.
- [22] WILLIAMSON, O.: *MARKETS AND HIERARCHIES: Analysis and Antitrust Implications*, New York, 975. WIGAND, R. T. (1996). *Electronic commerce: definition, theory, and context*. The Information Society, 13 (1), 1-16.

La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento

9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

14 al 16 de septiembre del 2011

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas

Bogotá – Colombia

Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas

Silvia Lorena Ávila

Universidad Del Valle,
Ingeniería Industrial

Calle 13 No 100-00, Cali
(572) 8825555 ext 1748

avilasil@gmail.com

María Stefany Nieto

Universidad Del Valle,
Ingeniería Industrial

Calle 13 No 100-00, Cali
(572) 8891532

mstephany89@
gmail.com

Diana Carolina Jiménez

Universidad Del Valle,
Ingeniería Industrial

Calle 13 No 100-00, Cali
(572) 666 24 00 ext 228

dianacajibo@gmail.com

Juan Carlos Osorio

Universidad Del Valle,
Ingeniería Industrial

Calle 13 No 100-00, Cali
(572) 3334903

juan.osorio@
correounivalle.edu.co

RESUMEN

Este artículo presenta a través de Dinámica de Sistemas el análisis y evaluación del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos debido al incremento de los residuos asociados al crecimiento de la población en la ciudad de Santiago de Cali. Se hace uso del software Vensim para la simulación del comportamiento del sistema

Palabras claves

Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Crecimiento poblacional, Contaminación, Aprovechamiento y Disposición Final, Dinámica de Sistemas.

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos comprenden todos los desechos provenientes de las actividades humanas y animales, por lo tanto se puede decir que los residuos sólidos son una consecuencia de la vida [4], de modo que la proporción en la que esta aumenta afecta directamente la producción de residuos.

Los comportamientos de consumo en los últimos años han dado paso a que la población adquiera mayores cantidades de

productos, los cuales cada vez pasan a ser inútiles, inservibles y obsoletos con mayor rapidez. Igualmente utilizar de manera exagerada los productos desechables (especialmente plásticos) fabricados para la comodidad del consumidor, pero sin pensar en el medio ambiente [2] ha contribuido a generar centenares de toneladas de basura que se acumulan a lo largo y ancho de la ciudad.

Dentro de la amplia gama de temas que guardan relación con la problemática ambiental y que en los últimos años ha tomado fuerza en los programas de protección del medio ambiente a nivel mundial y en Colombia, se encuentra la gestión de los residuos sólidos [1]. En relación a esto, se debe considerar el hecho de que la producción, el manejo y la disposición final de los residuos generados por la población, ha dado paso el fortalecimiento de fenómenos ecológicos, como la contaminación del agua, el suelo y el aire. La relación existente entre estos elementos se puede observar en la figura.No.1.

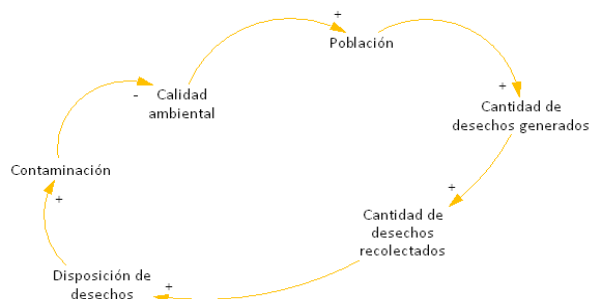


Figura No. 1. Relación Población, residuos y Contaminación.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas – 14 al 16 de septiembre de 2011, Bogotá - Colombia

Copyright 2011 Universidad del Rosario [ISSN 2027-7709] US \$10.00

Aunque esta problemática cubre una gran cantidad de frentes, para nuestro trabajo la representación del objeto de análisis será limitada en diferentes aspectos como se explicará posteriormente, debido a la complejidad del sistema, la cantidad de variables e información vinculada.

En relación a lo anterior y analizando el vínculo existente entre las diferentes partes del sistema de Gestión de Residuos Sólidos y la problemática descrita se presenta el siguiente diagrama de influencias como la representación general de la situación objeto de análisis.

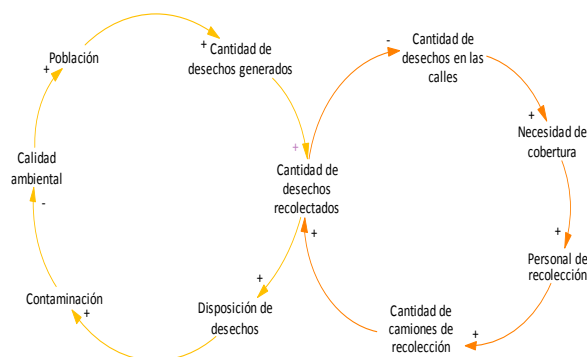


Figura No. 2. Diagrama de relaciones problemática.

2. RELACIONES DEL SISTEMA

La representación del sistema objeto de análisis puede ser entendida como se presenta a continuación:

Ante un aumento en la población, se presenta un aumento en la cantidad de desechos generados, de igual forma como respuesta de los sistemas de recolección, se presenta un aumento en la cantidad de basura recolectada, lo que acrecienta la cantidad de disposición de residuos en los basureros; por el efecto de estos en el ambiente, la contaminación crece y genera un deterioro en la calidad de vida de la población de modo que se afecta negativamente su crecimiento.

La presión que genera el aumento de la cantidad de residuos generados por la población sobre los sistemas de recolección, hacen que estos deban recoger una mayor cantidad de residuos, con lo cual logran reducir la cantidad de residuos que son dispuestos en las calles, por lo que se podrá pensar que se puede relajar la necesidad de cobertura, con menos cantidad de personal para recolección y menos camiones de recolección, lo que los dejará con poca capacidad de recolección para enfrentar el crecimiento de la población.

Con base en las relaciones definidas en el anterior diagrama (Figura No. 2), se definen una serie de relaciones relevantes, es decir, los factores que se afectan en el sistema del caso de estudio.

3. CASO DE ESTUDIO

La representación del sistema a estudiar se inicia con la población ya que es el factor que más influencia tiene en la variable de cantidad de desechos emitidos y de la cual parten los demás elementos que conforman el problema a analizar; encontrándose una relación de gran impacto entre estas dos. La cantidad de desechos emitidos además de estar afectada por la población, está

influenciada por la tasa de desechos por habitante, que representa la razón de crecimiento de los residuos generados.

La cantidad de residuos emitidos tiene una gran influencia en la cantidad de residuos recolectados ya que son estos los residuos que la empresa oficial recolectora de la ciudad puede cumplir con el número de camiones que tiene a su disposición, teniendo en cuenta la capacidad de cada vehículo y la frecuencia establecida para llevar a cabo dicha actividad.

Teniendo en cuenta que existe una tasa de aprovechamiento referente a la cantidad de residuos que pueden ser reutilizados, llegan a la disposición final, es decir los vertederos, todos aquellos residuos recogidos que no vuelven a utilizarse y contribuyen a la contaminación, variable que a la vez está afectada por la emisión de lixiviados y gases del vertedero en sí. Este último factor influye en la calidad de vida que se obtiene por el estado del ambiente ante variaciones de dicha variable, lo que hace notar una influencia relevante en la población ya que se afecta directamente el flujo de nacimientos, volviendo a la variable de partida.

Otro factor que es importante resaltar, es la necesidad de adquirir un nuevo basurero debido a que al vertedero inicial está ligada una capacidad máxima que al pasar el tiempo será superada por el aumento de los residuos recolectados, por lo que este dejará de funcionar y se hará necesario buscar otro lugar para depositar los desechos que se generarán. Este nuevo vertedero influirá también en la contaminación, haciendo que esta relación permanezca en el tiempo. Dado que abrir un nuevo vertedero necesita una serie de estudios con su respectiva planificación y que el nuevo vertedero tiene una capacidad limitada, se hace necesario tener en cuenta cuándo llevar a cabo todas las actividades para abrir otro vertedero. Por otro lado, los desechos que no se alcanzan a recoger por falta de capacidad del equipo de la compañía, se considera que queda en las calles, siendo esto aprovechado por otra empresa. El aumento de la cantidad de residuos en las calles, incrementa la necesidad de cobertura por parte de la empresa oficial, lo que influye en la cantidad de equipo recolector (personas y camiones recolectores), refiriéndose a la compra de más elementos para volver a recuperar o mantener el nivel de servicio que se le entrega a la comunidad.

4. SIMULACIÓN

Una vez se cuenta con las relaciones establecidas, se realizó una investigación para determinar los parámetros que se incluiría en la simulación. Por medio del software Vensim, se realizó la simulación del comportamiento del sistema para 10.000 periodos (días), con un cambio periodo a periodo, lo que permitió realizar el análisis y la evaluación del impacto de los parámetros que permiten observar el comportamiento de la Gestión del manejo de los residuos, los cuales se identifican como herramientas que contribuyen a definir el grado de cumplimiento de las metas, los objetivos y, finalmente, del propósito del programa de GIRS; es decir, de la protección de la salud de los habitantes de la ciudad de Cali, debido a los efectos nocivos de la contaminación.

4.1 Formulación general

A continuación se presenta en la figura 3 el diagrama de forrester del problema presentado, con la formulación más importante del mismo:

Cantidad equipos recolectores: Representa la cantidad de camiones con el que cuenta la organización oficial en el momento. Está influenciada por la variable: *Variación equipo recolector*. Se tomará una capacidad limitada, es decir una cantidad de camiones que tiene la empresa y nos e analizará si se compran o no camiones. Sólo se verá como los camiones disponibles en el momento para recolectar los residuos generados.

Cantidad de equipo recolector = Variación equipo recolector

Valor inicial = 10

Unidades = Camión

Se toma un valor inicial igual a 10 camiones ya que es la flota con la que actualmente cuenta la compañía oficial.

4.2 Variables de Flujo

Se definieron diez variables de flujo para el diagrama de Forrester:

Nacimientos: Corresponde al flujo de entrada del nivel Población, representando la cantidad de personas que nacen en la ciudad cada día. Esta variable está influenciada por: *tasa de natalidad, calidad ambiental y población*.

Nacimientos = Población*(Tasa de natalidad-Calidad ambiental)

Unidades = Personas/día

Muertes: Comprende el flujo que disminuye el nivel Población, como la cantidad de personas que mueren al día. *Población y tasa de mortalidad* son las variables que influyen.

Muertes = Población*(Tasa de mortalidad)

Unidades = Personas/día

Desechos entrantes: Representa el flujo de desechos que entran al nivel Vertedero – disposición de desechos, y corresponde a todos los desechos recolectados, tanto de la compañía oficial como de la empresa alterna. Las variables que afectan este flujo son: *Tasa de aprovechamiento, Cantidad de desechos recolectados y Recolección*.

Desechos entrantes = (Recolección + Cantidad de desechos recolectados)*(1 - Tasa de Aprovechamiento)

Unidades = Kg/día

Descomposición: Es el flujo de salida del nivel Vertedero – disposición de desechos, representando el deterioro de los desechos. *Tasa de descomposición y Vertedero – disposición de desechos* son las variables que influyen en este flujo.

Descomposición = Tasa de descomposición*(Vertedero - disposición de desechos)

Unidades = Kg/día

Desechos entrantes 2: Corresponde al flujo de entrada del nivel Nuevo vertedero. Las variables que influyen en este son: *Desechos entrantes y Diferencia de cap*.

Desechos entrantes 2 = IF THEN ELSE (Diferencia de Cap<0, Desechos entrantes, 0)

Unidades = Kg/día

Descomposición 2: Al igual que la variable de flujo *Descomposición*, representa el flujo de salida de Nuevo vertedero y está influenciada por: *Tasa de descomposición y Nuevo vertedero*.

Descomposición 2 = Nuevo Vertedero*Tasa de descomposición

Unidades = Kg/día

Incremento: Representa el momento de empezar los estudios y la planificación que un nuevo vertedero requiere. *Desechos entrantes y Dif ca* son las variables que influyen en este flujo.

Incremento = IF THEN ELSE (Dif cap<0, Desechos entrantes 2, 0)

Unidades = Adimensional

Cuando la capacidad del nuevo vertedero se supere, los desechos entrarán a este nivel, indicando que es necesario planificar el otro vertedero, de lo contrario no se activará.

Desechos no recolectados: Representan todos los residuos que la compañía oficial no pudo recolectar por falta de capacidad, diariamente. Este flujo está influenciado por las variables: *Cantidad de desechos recolectados y Cantidad de desechos emitidos*.

Desechos no recolectados = Cantidad de desechos emitidos - Cantidad de desechos recolectados

Unidades = Kg/día

Recolección: Representan los desechos que la otra empresa recolectora puede cubrir con su capacidad, disminuyendo el nivel Cantidad de desechos en la calle, diariamente. Las variables que afectan a este flujo son: *Frecuencia de recolección 2, Capacidad de camión 2 y Equipos recolectores 2*.

Recolección = Capacidad de camión 2*Equipos recolectores 2*Frecuencia de recolección 2

Unidades = Kg/día

Variación equipo recolector: Representa el flujo de entrada del nivel Cantidad equipos recolectores, definiendo la cantidad de camiones que se pueden utilizar diariamente. *Cantidad equipos recolectores, Necesidad de cobertura y Equipos máximos* son las variables que influyen en dicho flujo.

Aumento equipo recolector = IF THEN ELSE ((Necesidad de cobertura -Cantidad equipos recolectores)>0, IF THEN ELSE ((Necesidad de cobertura - Cantidad equipos recolectores)>Equipos Máximos, Equipos Máximos, (Necesidad de cobertura - Cantidad equipos recolectores)), 0)

Unidades = Camión/día

4.3 Variables auxiliares y constantes

Se presentan las constantes en forma de tabla y se explican las variables auxiliares.

Los valores de la Tabla No. 1, corresponden a datos reales tomados de los diferentes estudios hechos por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), y diferentes artículos que han abordado el tema.

Calidad ambiental: Esta variable representa la forma cómo la contaminación puede llegar a afectar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad y se define como la tasa de disminución de dicha calidad. Se definieron unos valores con base en los datos que puede tomar la contaminación, el cual es el factor que más influye en este indicador.

Calidad ambiental = Tabla de Calidad (Contaminación)

Unidades = Adimensional

Tabla 1. Parámetros constantes del modelo

Parámetro	Valor (unidades)	
Tasa de natalidad	0,001196	1/día
Tasa de mortalidad	0,000669	1/día
Tasa de aprovechamiento	0,2	1/día
Tasa de descomposición	0,05	1/día
Capacidad Máxima - Vertedero	1,00E+08	Kg
Capacidad Max - Nuevo vertedero	2,00E+08	Kg
Capacidad de camión	2600	Kg/(Camión*veces)
Equipos recolectores 2	100	Camión
Capacidad de camión 2	2600	Kg/(Camión*veces)

Tabla No. 2. Valores de la Tabla de Calidad

Contaminación	Calidad ambiental
1,00E+05	0,0001
5,00E+05	0,00015
1,00E+06	0,0002
5,00E+06	0,00025
1,00E+07	0,0003
5,00E+07	0,00035
1,00E+08	0,0004
5,00E+08	0,00045
1,00E+09	0,0005
5,00E+09	0,00055

Emisión de lixiviados: Este es uno de los factores que influyen en la contaminación y es consecuencia principal de la disposición final de los residuos. Dado que en los artículos revisados no se encontró un valor exacto de este parámetro, sino valores que oscilaban entre 0.01 y 0.1 emisiones al día, por lo que se utilizó la función RANDOM para representarlo.

Emisión de lixiviados = RANDOM UNIFORM (0.01, 0.1, 0.001)
Unidades = 1/día

Emisión de gases: Al igual que para el anterior parámetro, no se encontró un valor exacto sino varios que oscilaban entre 0.04 y 0.1.

Emisión de gases = RANDOM UNIFORM (0.04, 0.1, 0.001)
Unidades = 1/día

Contaminación: Esta variable representa el nivel de contaminación que generan los vertederos en cuanto a los agentes más contaminantes como lo son las emisiones.

Contaminación = (Emisión de gases + Emisión de lixiviados)*(Nuevo Vertedero + Vertedero - disposición de desechos)

Unidades = Kg/día

Tasa desechos por habitante: Para esta variable hace falta un análisis exhaustivo ya que aquí influyen las condiciones socioeconómicas de los ciudadanos y también las campañas de reciclajes. La generación de residuos por estrato socioeconómico varía entre 0,4 y 1,1 kg/hab-día, según Klinger et. al. (2009). Esta será la variación que se tendrá en cuenta para simular la situación.

Tasa desechos por habitante = RANDOM UNIFORM (0.4, 1.1, 0.1)

Unidades = Kg/(Personas*día)

Cantidad de desechos emitidos: Esta variable representa el número de desechos que la población genera y que será la base para determinar el número de residuos que van directamente a los vertederos.

Cantidad de desechos emitidos = Población*Tasa desechos por habitante

Unidades = Kg/día

Frecuencia de recolección: Las veces que esta designado un camión para recorrer la ciudad diariamente, están representadas en esta variable. Dado que no un camión puede hacer de 3 a 6 recorridos por día, se utiliza la función RANDOM para simular esta situación.

Frecuencia de recolección = RANDOM UNIFORM (3, 6, 1)

Unidades = Veces/día

Frecuencia de recolección 2: Esta variable representa las veces que puede pasar un camión de la empresa alterna cada día. Se definió igual que *Frecuencia de recolección* para no complicar el modelo.

Frecuencia de recolección 2 = RANDOM UNIFORM (3, 6, 1)

Unidades = Veces/día

Cantidad de desechos recolectados: Con esta variable se representa el número de residuos que la empresa oficial puede cubrir con el equipo que cuenta cada día.

Cantidad de desechos recolectados = (Cantidad equipos recolectores*Capacidad de camión*Frecuencia de recolección)

Unidades = Kg/día

Necesidad de cobertura: Representa la cantidad de camiones necesarios para poder recolectar todos los desechos que se generan cada día.

Necesidad de cobertura = INTEGER (Cantidad de desechos en las calles/(Capacidad de camión*Frecuencia de recolección))

Unidades = Camión/día

Equipos Máximos: Con esta variable se representa la cantidad de equipos recolectores con los que cuenta la compañía oficial y que dispone para designar las tareas de recolección. Cabe resaltar que en el análisis de la situación no se tuvo en cuenta la posibilidad de comprar nuevos equipos. Esta variable oscila entre los 200 y 300 camiones ya que en la revisión de artículos que se realizó se

encontró que EMSIRVA tenía aproximadamente 260 camiones para recolección.

Equipos Máximos = RANDOM UNIFORM (200, 300, 10)
Unidades = Camión/día

Capacidad utilizada: Representa la capacidad que está siendo utilizada por el basurero de Navarro.

Capacidad utilizada = Vertedero – disposición de desechos
Unidades = Kg

Diferencia de cap: Esta variable representa la capacidad disponible del vertedero ya que hay una restricción que crea la necesidad de disponer de un nuevo vertedero.

Diferencia de cap = (Capacidad Máxima – Vertedero) - Capacidad Utilizada
Unidades = Kg

Dif cap: Representa la misma situación que *Diferencia de cap*, pero con respecto al nuevo vertedero que se tiene, en este caso Yotoco. Al igual que el de Navarro también cuenta con una restricción de capacidad que crea la necesidad de buscar y planificar un nuevo botadero.

Dif cap = Capacidad Max Nuevo Vertedero - Nuevo Vertedero
Unidades = Kg

5. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la simulación realizada

Al analizar la figura 4, se observa el comportamiento que tiene la población con respecto a la contaminación, es importante decir, que como era de esperar, ambos parámetros tienen un comportamiento creciente, sin embargo, la contaminación tiende a ser errática debido a que esta depende de la cantidad de lixiviados y la emisión de gases producida por los vertederos que se encuentren tanto en uso, como en su capacidad máxima.

Es importante resaltar, que el aumento de la amplitud sucede en el momento en el que se tienen los dos vertederos, por lo que se debe tomar control sobre el vertedero que ha llegado a su capacidad máxima, debido a que sigue contaminando y con el nuevo vertedero, los niveles de contaminación presentan un crecimiento más rápido.

Por su parte referente a la relación existente entre las capacidades de los vertederos (figura 5), es evidente observar que cuando el vertedero llega a su capacidad máxima, como ocurre en la realidad, se inicia el funcionamiento del nuevo vertedero, cerrando la entrada de residuos al primero. De igual forma, al analizar la falta de un tercer vertedero, nace la necesidad de crearlo, aproximadamente 10 años después, tiempo de vida previsto para el segundo vertedero. Con esto, y teniendo en cuenta, que la planificación e inicios de obras para que el segundo vertedero iniciara su funcionamiento fue de un año, se puede estimar la fecha de inicio de obras del tercer vertedero. En este análisis, no se tuvo en cuenta que el segundo vertedero dentro de su planificación tiene la posibilidad de expandirse hasta un tiempo de vida de 20 años [7].

Para el análisis de la relación de camiones recolectores y la necesidad de cobertura que se registra, es importante resaltar que la necesidad de cobertura en la realidad, normalmente, será mayor que la cantidad de camiones recolectores, debido a que existen diferentes tipos de restricciones como dinero, planeación, espacio, entre otras, que hacen que la adquisición, mantenimiento y manejo de equipos sea limitada, lo cual representa una de las principales causas del problema de GIRS. Las condiciones de idealidad planteadas en el modelo desarrollado, que omiten las restricciones anteriormente planteadas, hacen que los resultados de la modelación evidencien el esfuerzo realizado por el sistema para alcanzar la cantidad de vehículos máxima, con la que se pueda atender la necesidad de cobertura (camiones) registrada a partir de la cantidad de desechos que van a las calles.

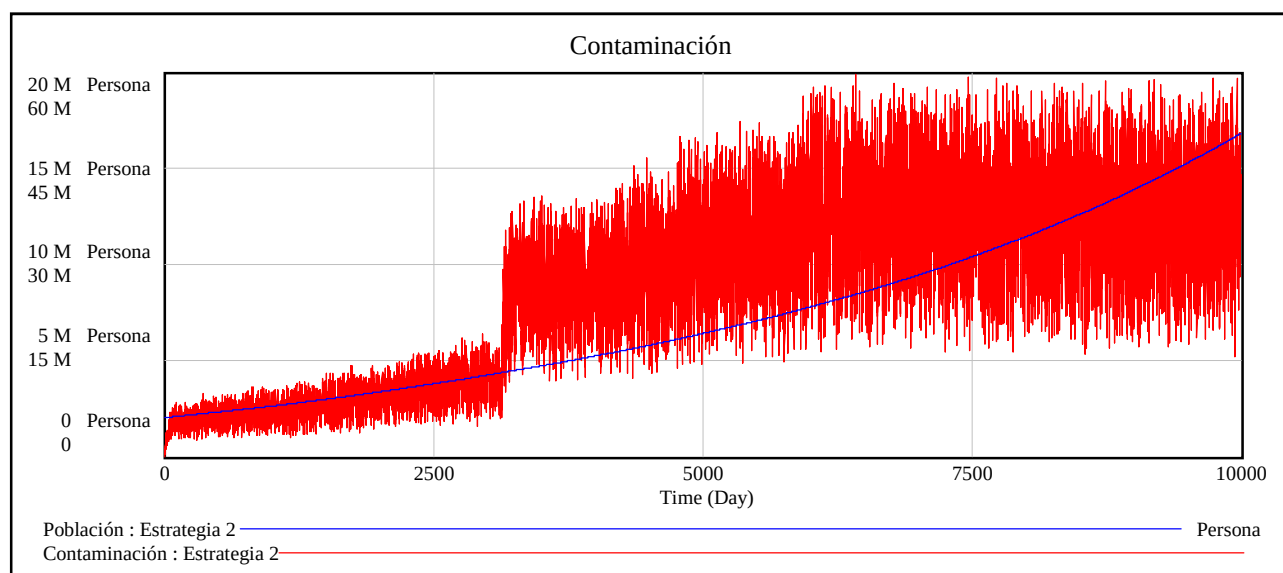


Figura No. 4. Contaminación vs Población

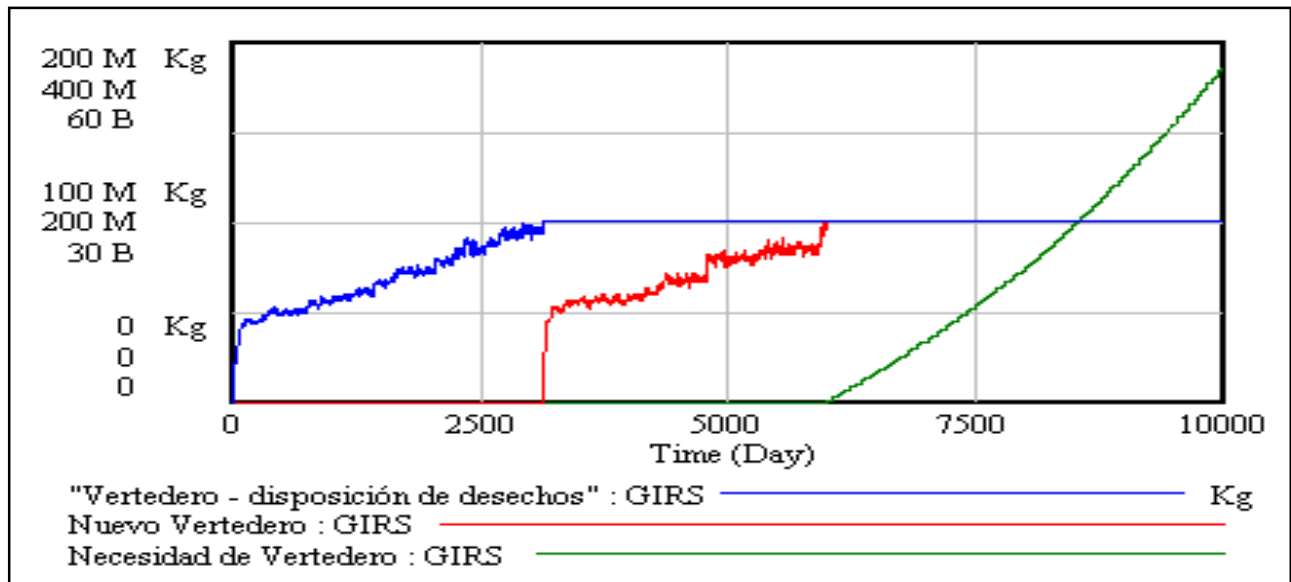


Figura No .5. Relación vertederos y la necesidad de un nuevo vertedero

6. ESCENARIOS

Campañas de Concientización y Optimización de equipos recolectores. Suponga que por iniciativa de las entidades municipales y el sector privado se realiza una estrategia de **Concientización** que permite que la tasa de aprovechamiento de residuos se aumente al 40% por kg que se dispone en el vertedero. Por su parte las empresas encargadas de la recolección, con el paso de los años logran realizar una optimización sobre los equipos recolectores y su planeación, permitiendo mejorar su capacidad por recorrido a 3600 Kg y su frecuencia de recolección a 9 Veces día.

A nivel de contaminación, se puede apreciar que por medio de esta estrategia, los niveles de esta disminuyen levemente, sin embargo si se observa que, los efectos de contaminación emitidos por los dos vertederos se retrasan en el tiempo, es decir que el alcance de la capacidad máxima del vertedero inicial es más lento.

Aumento de la producción de productos amigables con el ambiente. Suponga que las grandes empresas comerciales de la ciudad impulsan campañas publicitarias donde se ofrecen productos amigables con el medio ambiente, con periodos de vida más largos y así mismo, prestan un servicio de recolección para dar un tratamiento adecuado en la disposición final.

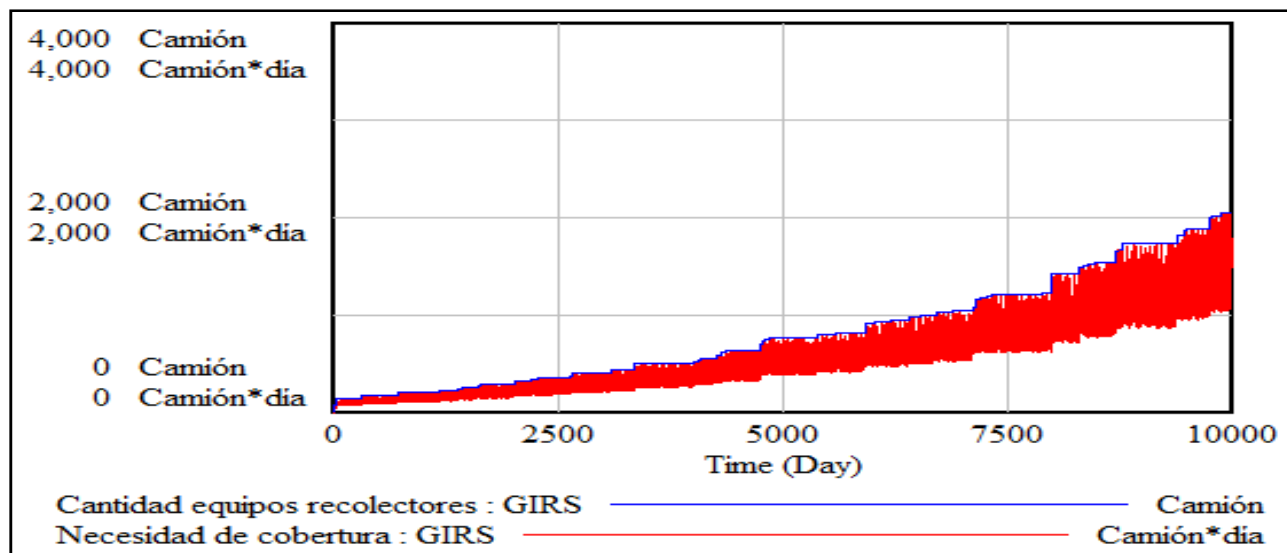


Figura No. 6. Relación Equipos recolectores y necesidad de cobertura

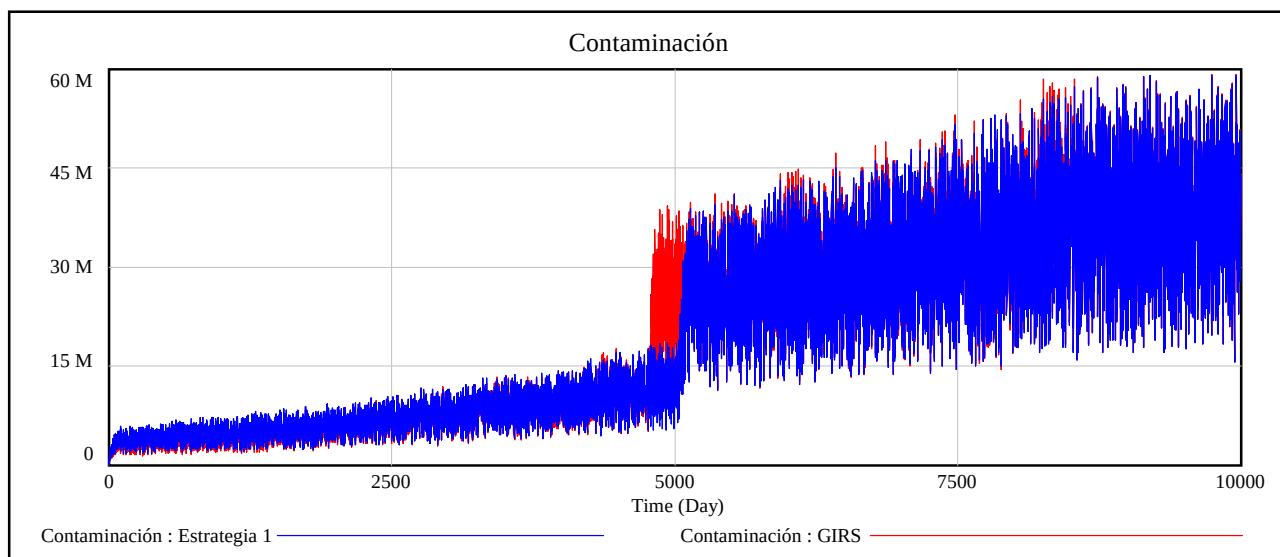


Figura No. 7. Estrategia 1

Con esto, se logra reducir la cantidad de desechos emitidos por habitante de entre 0,4 y 1,1 kg/hab-día a 0,2 y 0,8 kg/hab-día.

Por medio de esta estrategia, la velocidad en la que se llenan los vertederos considerados en el sistema, así como la necesidad de la apertura de uno nuevo, se reduce considerablemente, sin embargo los niveles de contaminación no se disminuyen tan solo se retrasan.

7. CONCLUSIONES

- La Gestión integral de Residuos Sólidos, debe tener en cuenta la estructura misma del sistema, sus componentes y los elementos de la ciudad, como por ejemplo, capacidad de vertederos, el crecimiento de la población, la cantidad de desechos por habitante, entre otros. El análisis de dichos elementos permite no solo conocer el impacto de los mismos, sino también sus causas, para así diseñar y formular políticas y estrategias que conlleven a una gestión ambiental adecuada de la ciudad.
- La cantidad de elementos que caracterizan a las ciudades y a los programas de Gestión Integral de Residuos Sólidos, es decir, al sistema objeto de análisis, hacen que la problemática de contaminación relacionada con el crecimiento poblacional de las ciudades, sea de gran complejidad; sin embargo esta puede ser reducida por medio del establecimiento de supuestos, que permitan realizar la modelación en condiciones de idealidad. Se resalta la necesidad e importancia de caracterizar en detalle los demás elementos del manejo de residuos sólidos que no fueron contemplados a profundidad en este artículo.
- La falta de conciencia ambiental de los ciudadanos, de coordinación de las distintas áreas que hacen parte del municipio, y de apoyo del Gobierno, son causas de la problemática descrita, ya que las entidades al actuar en forma independiente no consideran variables ambientales que son importantes. Es de reconocer que el aumento de conciencia podría conducir a mayores tasas de aprovechamiento y a su vez, menores niveles de contaminación.

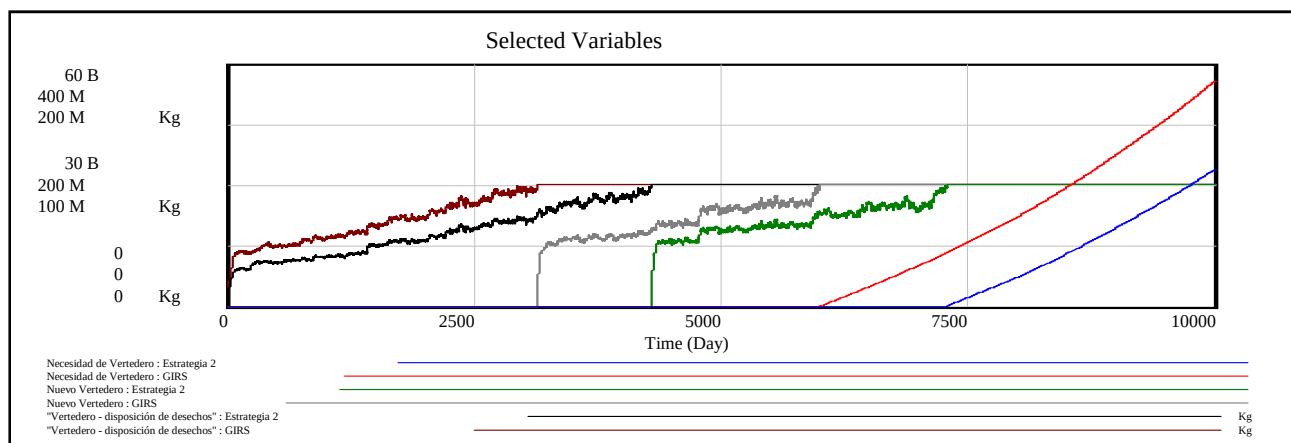


Figura No. 8. Estrategia 2

- La realización de campañas de concientización y el establecimiento de políticas que permitan reducir la generación de residuos por parte de la población, así como la separación y aprovechamiento de los mismos en la fuente, son de gran impacto sobre el sistema de análisis, dado que permiten reducir los niveles de contaminación y emisiones al ambiente, al igual que retardar la necesidad de apertura de nuevos vertederos a cielo abierto.
- La creación de zonas de acopio, donde lleguen los materiales reciclables recolectados por las empresas de servicios y se les dé el trato correspondiente, garantiza que los residuos sean manipulados correctamente a lo largo de la cadena, no sólo en la fuente. Es por esta razón que los esfuerzos por desarrollar métodos que permitan mantener controladas las emisiones en los centros de acopio de materiales reciclables y residuos, deben ser constantes si se tiene en consideración el impacto ambiental producido por ellos.

8. REFERENCIAS

- [1] ALCALDÍA MUNICIPAL DE SANTIAGO DE CALI. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS 2004-2019). 2004. [En Línea] (Consultado Septiembre de 2010). <<http://www.cali.gov.co/publico2/documentos/varios/pgiris.pdf>>
- [2] BENAVIDES, Alieen; GONZALEZ, Paul y VARGAS, Rosario. Evolución de la Contaminación en Panamá: Escenarios para su disminución. Universidad Adolfo Ibáñez. 2008.
- [3] DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Secciones: Proyecciones de población 2005 – 2020 y Estadísticas vitales. [En Línea] (Consultado Noviembre de 2010). <http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=119>
- [4] CALDAS BLUM, Manuel; CARDONA PLAZAS, Sergio Andrés; GUTIÉRREZ RINCÓN, Viviana Andrea; SOLÍS MOLINA, Miguel Ángel y OSORIO GÓMEZ, Juan Carlos. Una aproximación al problema de la gestión integral de los residuos sólidos domiciliarios del municipio de Santiago de Cali desde el enfoque del pensamiento sistémico. 5to encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. 2007.
- [5] CÁMARA DE COMERCIO DE CALI, FUNDACIÓN ALVARALICE, EL PAÍS, CASA EDITORIAL EL TIEMPO, FUNDACIÓN CORONA, CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Crónica de ciudad Emsirva y la gestión de residuos sólidos en el 2009. [En Línea] (Consultado Diciembre de 2010). <<http://www.calicomovamos.org.co/calicomovamos/files/6%20CRONICAS%20DE%20CIUDAD/CRÓNICA%20EMSIRVA%202009.pdf>>
- [6] CINARA, IDEAM y UNICEF. Caracterización de tecnologías para el manejo integral de residuos sólidos. Proyecto Selección de Tecnologías para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final en torno al Manejo Integral de Residuos Sólidos en Municipios menores de 50.000 habitantes. 2006. [En Línea] (Consultado Septiembre de 2010). <<http://comercio.ideam.gov.co/biblio/paginaabierta/Caracterizacion%20tecnologias.pdf>>
- [7] ENTREVISTA con Eduardo Ramírez, Gerente General. Relleno Sanitario de Yotoco. Santiago de Cali, 23 de septiembre de 2010.
- [8] GRUPO INVESTIGADOR adscrito a las Escuelas de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente e Ingeniería Industrial y Estadística de la Universidad del Valle. Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Santiago de Cali. 2006. [En Línea] (Consultado Septiembre de 2010). <http://objetos.univalle.edu.co/files/Caracterizacion_residuos_solidos_residenciales_en_Santiago_Cali.pdf>
- [9] KLINGER, Rafael; MADERA, Carlos; MARMOLEJO, Luis y OLAYA, Javier. Plan de muestreo para la cuantificación de residuos sólidos residenciales generados en las zonas urbanas de ciudades de tamaño intermedio. [En Línea] (Consultado Diciembre de 2010). <http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?pid=S0120-62302009000200008&script=sci_arttext>
- [10] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1045 de 2003. [En Línea] (Consultado Septiembre de 2010). <<http://www.carsucre.gov.co/Juridia/Legislacion%20Ambiental/residuos%20solidos/R1045.pdf>>