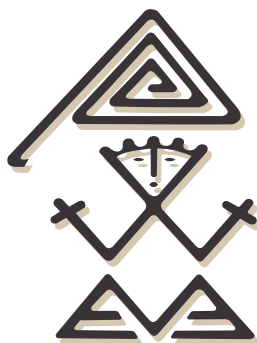




XV ENCUENTRO COLOMBIANO DE DINÁMICA DE SISTEMAS



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
DE DINÁMICA DE SISTEMAS

MEMORIAS ENCUENTRO COLOMBIANO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

ISSN: 2539-1631

Universidad de Cartagena
Universidad Jorge Tadeo Lozano
Cartagena de Indias - Colombia
30, 31 de Agosto y 1 de Septiembre de 2017



Universidad
de Cartagena
Fundada en 1827

UTADEO
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
SECCIONAL DEL CARIBE - CARTAGENA



ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE DINÁMICA DE SISTEMAS



Estas Memorias hacen parte del material del XV Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, realizado en la ciudad de Cartagena de Indias – Colombia, los días 30 y 31 de agosto y 1 de septiembre de 2017. En este se recopilan todos los resúmenes de los artículos de las ponencias presentadas durante la realización del evento.

Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

XV ECDS 2017 – Cartagena de Indias

ISSN: 2539-1631 (En línea)

Asociación Colombiana de Dinámica de Sistemas

Primera edición, enero de 2018

Editor: Luciano GALLÓN, PhD. Docente Titular, Universidad Pontificia Bolivariana

Diseñador Gráfico: Ricardo Suárez Vera, Universidad de Investigación y Desarrollo UDI

El material de esta publicación puede ser reproducido sin autorización, siempre y cuando se cite apropiadamente.

Presentación

En su dinámica de construcción de unidad en la diversidad de la DS y con DS, la comunidad colombiana al abrigo de las universidades se ha reunido anualmente para dar cuenta de su continuo hacer dinámico sistémico.

En éste 2017 nuevamente la universidad de Cartagena y la universidad Jorge Tadeo Lozano, acogieron a la Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas -CCDS, para que a sus 15 años se reuniera en su quinceavo encuentro. Esta memoria consigna los trabajos que fueron aceptados y presentados en el evento, estos constituyen una significativa muestra del presente de una comunidad que se construye y reconstruye en su diario vivir dinámico sistémico.

Además, los quince años de la comunidad, fue el momento que la misma escogió para presentarse formalmente en el contexto nacional, latinoamericano y Mundial, en términos de: LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE DINÁMICA DE SISTEMAS – ACDS. Sus estatutos y la organización se encuentran en su sitio web oficial: <https://comunidadcolombianads.com>

COMITÉ EJECUTIVO
XV Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

Jorge Andrick Parra Valencia.
Isaac Dyner Rezonzew.
Hugo Hernando Andrade Sosa.



AUTORES DE LAS PONENCIAS

Adriana Marcela Becerra Fernández

Adriana Otero

Adriana Rocío Lizcano Dallos

Alejandro Salgado Gomez

Amaury Cabarcas Álvarez

Andrea del Pilar Vera Silva

Andrés Alfonso Beltrán Velásquez

Andrés Felipe Rojas Ortiz

Andrés Felipe Vizcaino Salazar

Andrés Fernando Jiménez López

Andrés Julián Aristizábal

Andrés Maldonado Vargas

Arleys Roca

Carlos Alcalá

Carlos Aníbal Vásquez Cardozo

Carlos Arturo Parra Ortega

Carlos Daniel Rozo Herrera

Carlos Gutiérrez

Carlos Jaime Franco Cardona

Carlos Parra Ortega

Celinda Cueto

Clara Inés Pardo

Claudia Patricia Báez Trujillo

Daniel Camilo Román Quintero

Daniel Hernán Ospina Barragán

Danny Waldir Ibarra Vega

Darwin Antonio Baquero Sandoval

David Felipe Sánchez Torres

Dewar Rico Bautista

Diana Lorena Cadavid Higueta

Diego Alezander Sosa Suárez

Diego León Peña Orozco

Efrén Romero Riaño

Eliécer Pineda Ballesteros

Enrique Estupiñán Escalante

Fabián Rolando Jiménez López

Federico Cosenz

Fernando Antonio Arenas Guerrero

Fidel Andrés Olarte Bustos

Francisco Scholborgh Quintero

Gabriel Mauricio Martínez Toro

Gerard Olivar Tost

Gina Paola Maestre Góngora

Guillermo Tobar

Hernán Washington Samaniego Guevara

Hugo Hernando Andrade Sosa

Isaac Dynner Rezonzew

J. M. Redondo

Jaime Torres Flórez

Jairo Vargas Caleño

James Elliot Byder

Jennifer Henao Grisales

Jennifer Rodriguez Andrade

Joan Paola Cruz González

Jordan Alejandro Gutiérrez Castillo

Jorge Andrick Parra Valencia

Jose Edison Solano Correa

Juan Sebastián Angarita Zapata

Juana Alejandra Piedrahita Sepúlveda

Julián Alejandro Pantoja Campo

Julieth García

Katerine Urbano Urbano

Laura Milena Cárdenas Ardila

Leonardo Rodríguez Pineda

Lina Marcela Murcia Manrique

Luciano Gallón Londoño

Luis Castellar

Luis Eduardo Guerra González

Luz Angélica Rodríguez Bello

Malena Altamiranda

Marco Antonio Ardila Barragán

Margy Nathalia Rojas Palacios

María Alejandra Goenaga Zamora

Mauricio Becerra Fernández

Mauricio García Quintero

Mauricio Martínez

Mauricio Niño Suárez

Milton Mauricio Herrera Ramírez

Nataly del Rosario Puello Pereira

Nathalie Ramírez Giraldo

Nicolás Escalante

Olga Rosana Romero Quiroga

Reinel Andrés Murillo Agudelo

Ronald Paternina

Samuel Prieto

Sebastián Amaya Porras

Sebastián Puccini
Sebastián Zapata
Silfredo Rivera
Sindy Johana Martinez Marín
Valeria Del Campo Muñoz
Walter Fernando Becerra Fernández
William Alfonso
Wilson Alexander Pinzón Rueda

ORGANIZADORES DEL XV ENCUENTRO COLOMBIANO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

COMITÉ EJECUTIVO

Hugo Andrade Sosa
Universidad Industrial de Santander

Isaac Dyner Rezonew
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Jorge Andrick Parra Valencia
Universidad Autónoma de Bucaramanga

COMITÉ ACADÉMICO

Hugo Andrade Sosa
Universidad Industrial de Santander

Isaac Dyner Rezonew
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Gloria Pérez Salazar
Tecnológico de Monterrey

Diana P. Giraldo
Universidad Pontificia Bolivariana - Medellín

Luciano Gallón
Universidad Pontificia Bolivariana - Medellín

Carlos J. Franco
Universidad Nacional de Colombia - Medellín

Jorge Andrick Parra Valencia
Universidad Autónoma de Bucaramanga

COMITÉ ORGANIZADOR DE SEDE

Amaury Cabarcas Á.
Universidad de Cartagena

Plinio Puello M.
Universidad de Cartagena

Gina Maestre G.
Universidad del Norte

Hugo Andrade Sosa
Universidad Industrial de Santander

Isaac Dyner Rezonew
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

INSTITUCIONES ORGANIZADORAS

Universidades Sede del Evento
Universidad de Cartagena
Univesidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

UNIVERSIDADES CO-ORGANIZADORAS

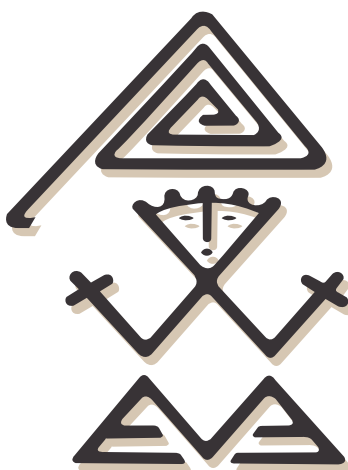
Universidad de Cartagena
Universidad Jorge Tadeo Lozano
Universidad Industrial de Santander
Universidad Autónoma de Bucaramanga
Universidad Nacional de Colombia - Medellín
Universidad Pontificia Bolivariana.
Universidad de Antioquia
Universidad de Cartagena
Universidad de la Sabana
Universidad de los Andes
Universidad de Nariño
Universidad de Pamplona
Universidad del Cauca
Universidad del Magdalena
Universidad del Valle
Universidad Distrital
Universidad Sergio Arboleda

SEDE DEL EVENTO



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827





**ASOCIACIÓN COLOMBIANA
DE DINÁMICA DE SISTEMAS**

Tabla de Contenido

Un Modelo De Simulación Para Una Pymes Acorde A La Dinámica De Sistemas	12
Comportamiento de los Stakeholders en el Proceso de Autoevaluación de una Institución de Educación Superior Modelo de Dinámica de Sistemas	18
Modelo de Dinámica de Sistemas para el Estudio del Índice de Deserción Universitaria en una Institución de Educación Superior	33
Modelo dinámico para el análisis de estrategias destinadas al control de la inseguridad pública	45
Adoption Process Of Solar PV On Commercial Buildings	65
Evaluación de Sostenibilidad en la Producción de Bioetanol.....	74
Simulación dinámica del impacto de la firma del tratado de paz en algunas variables económicas del sector de los pequeños productores en Colombia.	80
Impact of taxes on ex-dividend strategy	89
Dynamic Behavior Analysis Of The Gross Domestic Product In A City In The Center Of The Valle Del Cauca.	93
Gestión de residuos y su influencia en el Índice de Calidad Ambiental Urbana en Bogotá.	99
Who's Really Paying For "Ser Pilo Paga"?	102
Bandidos, granjeros y soldados: el conflicto y sus dinámicas poblacionales	109
Productividad en el Eslabón Primario Ganadero de Doble Propósito: Efecto de la Asociatividad.....	116
Modelo dinámico para la planeación del abastecimiento de equipos en la industria oil & gas.....	122
Deuda Pública Y Posconflicto.....	130
Aplicaciones de Dinámica de sistemas: Una aproximación por medio de casos de estudio de tesis doctorales.....	136
Modeling of Coal and Biomass Gasification Process in a Fixed Bed Reactor	144
Alcoholismo en Estudiantes de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Un Enfoque de Dinámica de Sistemas.	152
La Competitividad en Clúster: Una Aproximación Sistémica.....	160
Reflexión dinámico-sistémica en la planeación de la Movilidad Urbana.....	166
Modelo para considerar el papel de la gestión de tecnologías de información en iniciativas de Ciudades Inteligentes.	174
Análisis de las pandillas en Cartagena a través de un diagrama causal.....	181

Strategic Dynamic Thinking to Manage Public Order in Colombia: A Framework to Improve Post-Conflicts Security	186
Análisis de la contaminación ambiental en la bahía de Cartagena.	192
Mechanism for Promoting Motivation, Confidence and Autonomy Through Synchronic Communication Sessions in Virtual Learning Environments.	197
Criterios para la evaluación del aprendizaje en un curso introductorio de Dinámica de Sistemas	201
Evaluacion Con Dinamica De Sistemas Del Efecto A Largo Plazo Del Transporte De Bogotá D.C.	206
Simulación de la interconexión eléctrica entre la región Norte y Noreste de Brasil: una perspectiva de la cadena de suministro eólica.	211
Estudio De La Influencia De La Información Al Usuario Sobre La Congestión Vial Utilizando La Dinámica De Sistemas	217
Modelo de productividad de una granja avícola usando Dinámica de Sistemas	225
Ambiente De Dinámica De Sistemas Para El Aprendizaje Y Toma De Decisiones En Piscicultura – Pesco 3.0	231
Enfoque desde la dinámica de sistemas Para analizar la pobreza en Cartagena a causa del crecimiento urbano.	241
Índice.....	245

Un Modelo De Simulación Para Una Pymes Acorde A La Dinámica De Sistemas

H.W. Samaniego Guevara

Abstract: This is a research work carried out to a small and medium-sized company (SMEs) located in the city of Quito-Ecuador; which is dedicated to the manufacture of furniture for the home. This work was carried out as an investigation of a case study; which seeks to determine and find variables that are part of the generated model, which is created according to the methodology of the systems dynamics. The purpose of this model is to help SMEs achieve better results than they currently obtain.

Keywords: PYMES, systems dynamics, variables, simulation.

I. INTRODUCCIÓN

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) son agentes importantes en la estructura económica de los países de la región no sólo por su participación en el total de firmas sino también por su aporte al empleo y, en menor medida al producto [5]; así por ejemplo en Latinoamérica estas empresas se caracterizan por ser unidades individualizadas, flexibles, que generan ocupabilidad laboral, pero no en los porcentajes que ellas buscan, por lo cual, las PYMES pueden y deben mejorar fundamentalmente en aspectos administrativos y en términos de productividad; por cuanto sus niveles no son los deseados y sus utilidades o rendimientos financieros demuestran que este tipo de empresas no cubren las expectativas que generan cuando inician sus actividades comerciales. [1] [4].

En el Ecuador este tipo de empresas presentan graves problemas principalmente por su insuficiente capacidad competitiva, por el limitado uso de la tecnología y por el escaso apoyo de las políticas del gobierno y la relación actual con el Estado, lo que provoca variaciones importantes en temas de productividad, principalmente en la importación y compras de materias primas que debilitan el despeque industrial de este tipo de empresas [2].

Cuando existen este tipo de inconvenientes en estas empresas, una manera de buscar posibles soluciones es mediante la aplicación de modelos de simulación los cuáles constituyen una herramienta importante que les permiten tomar decisiones, por cuanto permiten explicar el comportamiento, funcionamiento y características

particulares que se pueden presentar en la pequeña y mediana empresa [3].

Dentro de los diferentes esquemas de simulación, la Dinámica de Sistemas constituye el esquema que toma el Pensamiento Sistémico como parte esencial en la toma de decisiones, lo que permite establecer criterios aproximados a la realidad, que determinen la tendencia de las diferentes variables involucradas en el medio, y de esta forma, tomar medidas que conlleven a lograr el mejor desempeño posible [3]

Diversos trabajos de simulación basados en dinámica de sistemas para diversas empresas se han realizado, así por ejemplo Melo, López, Camacho, Esparza y Villa [7];

presentan un modelo de simulación aplicado a la industria petrolera, los autores consideran a la dinámica de sistemas una herramienta para el análisis de desempeño de procesos; en dicho modelo simulan resultados de procesos mecánicos de bombeo en una plataforma de producción, presentando resultados de comportamiento de dichos equipos en función de variables que incrementen el rendimiento de dichas bombas. En cambio otros estudios específicos realizados a PYMES, se enfocan por ejemplo a una cadena de suministros para productos en seco, en donde los autores presentan un modelo que apoya a la pequeña y mediana empresa, buscando que dicho modelo aplicado a la logística posibilite incrementar sus rendimientos [6].

Finalmente, es factible anotar el trabajo doctoral efectuado por Samaniego, H. [9], el cual presenta un modelo de gestión empresarial basado en dinámica de sistemas para la pequeña y mediana empresa en Quito-Ecuador, el mismo que se genera a partir de la investigación en campo realizada a PYMES, mediante la aplicación de una metodología mixta buscando obtener variables específicas para la creación o generación de dicho modelo.

Con esta introducción es factible señalar que la metodología de la dinámica de sistemas es posible de ser aplicada en las grandes, pequeñas y medianas empresas; en este caso en particular es aplicado a una empresa PYMES dedicada a la fabricación y venta de muebles, logrando que en dicho modelo intervengan variables que actúan directamente en el giro del negocio de esta empresa de producción.

Con lo cual el objetivo principal del presente trabajo investigativo

es presentar un modelo de simulación aplicado a una PYMES, que permita contribuir al desarrollo de la misma, mediante la construcción de un modelo basado en dinámica de sistemas que permita comprender las variables que conforman el mismo y sus relaciones dentro del mercado que abarca la empresa objeto de estudio.

Dicho modelo facilita predecir la tendencia de las diferentes variables involucradas en la producción y comercialización de muebles a corto, mediano y largo plazo, mediante el análisis de resultados que se obtienen por la ejecución de simulaciones.

II. MODELO PROPUESTO

El modelo propuesto o generado considera básicamente un nivel el cual se encuentra en función del almacenamiento de la producción que tiene la empresa objeto de estudio. Dicho nivel considera el depósito de los productos o bienes que la empresa genera para su posterior entrega a los clientes, pero no de una manera individualizada por producto sino de una forma general en función de la cantidad de muebles fabricados y/o producidos para su posterior venta.

Este nivel a su vez está estructurado por un flujo, el cual se encuentran en función de la producción que planifica la empresa; adicionalmente el modelo está conformado por variables auxiliares que forman parte del modelo generado y fueron determinadas mediante seguimiento realizado a las actividades de la PYMES objeto de estudio, lo cual se describe a mayor detalle a continuación.

III. OBTENCIÓN DE VARIABLES

Para la obtención de las variables que forman parte del modelo de simulación, se efectuó una investigación conforme al estudio de un caso, el cual buscó clarificar las propiedades y/o características de la empresa de muebles; con la finalidad de que

la PYMES comprenda como un modelo de simulación basado en sus actividades regulares le ayude a visualizar sus posibles ventas, costos y demás elementos a futuro.

Conforme a lo señalado, al realizar el estudio de la empresa fabricante de muebles para el hogar y en función del tipo de investigación realizada, las personas que conforman los niveles directivos y supervisores de dicha empresa son las que estuvieron directamente relacionadas para la obtención de la información mediante la realización de entrevistas y una observación estructurada de cada una de sus actividades.

En tales circunstancias las entrevistas estructuradas fueron ejecutadas en función de la producción y clientes que dicha PYMES posee, complementando la información con la observación de las

actividades generales de la empresa, enfatizando dicha observación en los demás procesos involucrados en la PYMES.

Una vez encontradas las posibles variables, estas pasaron a un proceso de depuración, mediante un análisis de validación con la colaboración de siete expertos, quienes calificaron dichas variables encontradas en función de su claridad, pertinencia e importancia. Por último, conforme a la validación realizada por los expertos y mediante un análisis de correlaciones efectuado en el sistema informático SPSS se logró determinar las variables específicas que forman parte del modelo de simulación basado en la metodología de la dinámica de sistemas.

Este análisis de correlaciones se ejecutó con la finalidad de determinar las variables que actúan como niveles, flujos y auxiliares; considerando en primer lugar la variable de almacenamiento, cumpliendo con lo especificado en la teoría de la dinámica de sistemas en el sentido de que los niveles o nivel deben demostrar una acumulación y pueden variar en función de los flujos o flujo que actúan sobre ellos [8]. Por lo tanto, a continuación se muestra en la tabla 1 las variables que intervienen en el modelo, así como también su función específica

TABLA 1

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL MODELO DE SIMULACIÓN PARA UNA PYMES DE PRODUCCIÓN

No.	Variable	Función
1	Plazo promedio de pedidos	Variable auxiliar
2	Demanda pronosticada	Variable auxiliar
3	Días de existencia deseadas	Variable auxiliar
4	Días para corregir almacenamiento	Variable auxiliar
5	Producción planificada	Variable auxiliar
6	Producción	Flujo
7	Almacenamiento	Nivel
8	Ajuste de almacenamiento	Variable auxiliar
9	Stock deseado	Variable auxiliar
10	Pedidos	Variable auxiliar
11	Clientes	Variable auxiliar
12	Precio del producto	Variable auxiliar
13	Ingresos	Variable auxiliar
14	Beneficios	Variable auxiliar
15	Costos totales	Variable auxiliar

Los resultados alcanzados por las variables al ejecutar el análisis de correlaciones muestran que las mismas están correlacionadas, así por ejemplo la variable costos totales con la variable pedidos: Relación de Pearson= 0.170 y un valor de significancia $p=0.000 < 0.01$ lo que ratifica que existe una relación positiva entre las

mismas. Así también, entre las variables de producción y clientes: Relación de Pearson= 0.189 y un valor de significancia $p= 0.013 < 0.05$.

IV. RESULTADOS

El diagrama de flujos generado se encuentra realizado acorde a la metodología de la dinámica de sistemas, el cual fue desarrollado mediante la aplicación de un caso específico de estudio; dicho modelo fue generado en base a la investigación realizada

en campo con la colaboración de los niveles directivos y supervisores de la empresa, estableciendo para aquellos variables que pueden ser programadas de manera cualitativa, cuantitativa, con retrasos, con incrementos o decrementos porcentuales anuales conforme a los requerimientos de la empresa.

En concordancia con lo señalado y antes de visualizar el diagrama de flujos; se estructura la información recibida de la empresa en un diagrama causal, el cual es posible visualizarlo en la figura número 1.

Posterior a la generación del diagrama causal principal, es factible visualizar algunos diagramas causales que se originan a partir del diagrama principal. La traducción del diagrama causal al diagrama de flujos es necesaria para trabajar en el sistema informático Vensim, por cuanto este caso de estudio no es un proceso automático y en tal virtud es posible modificarlo acorde a los requerimientos en la creación de nuevos elementos como flujos.

En la figura número 5 que corresponde al diagrama de flujos se presenta una solución conforme a los datos recopilados y a las actividades observadas en la empresa, facilitando de esta manera su programación con la posibilidad de cambiar la misma, si el caso o la empresa lo ameritan.

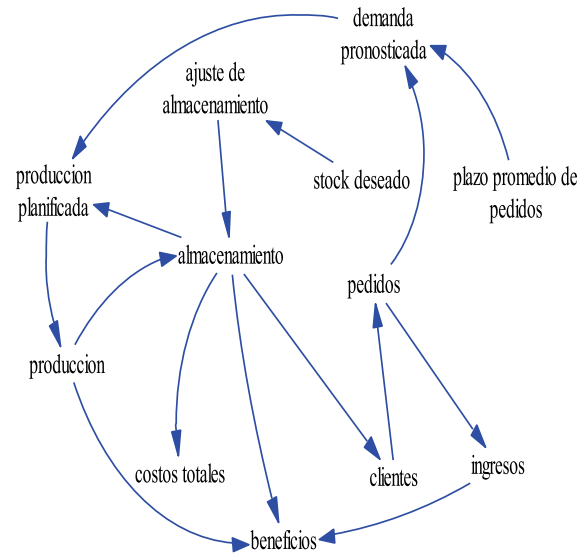


Figura 1. Diagrama causal principal

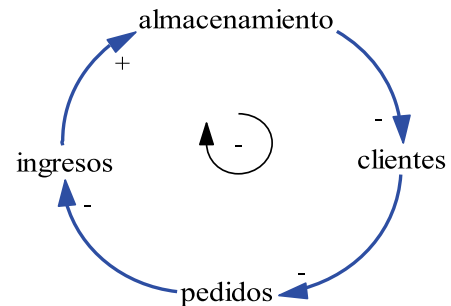


Figura 2. Diagrama causal de almacenamiento, clientes, pedidos e ingresos

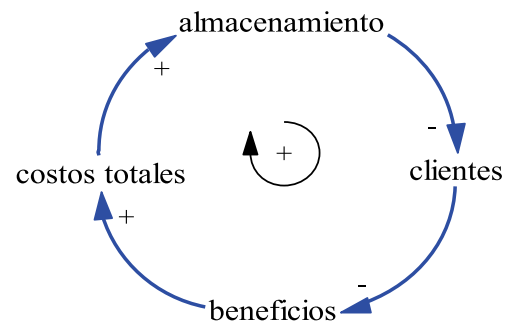


Figura 3. Diagrama causal de almacenamiento, clientes, beneficios y costos totales

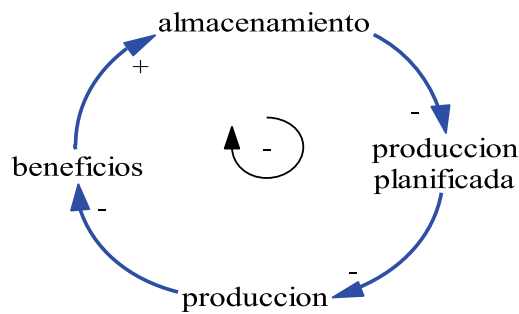


Figura 4. Diagrama causal de almacenamiento, producción planificada, producción y beneficios

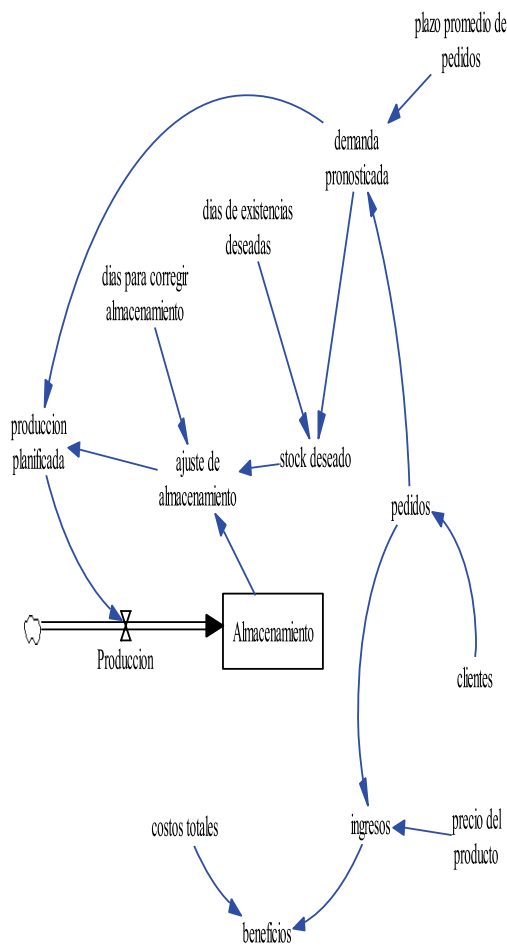


Figura 5. Diagrama de flujos

El modelo de simulación generado consta básicamente de dos partes: la primera que incluye el nivel de almacenamiento y el flujo de producción, adicionalmente en esta parte consta el plazo para el cumplimiento de pedidos, días de almacenamiento, demanda pronosticada, producción planificada entre otros; en definitiva todas las variables de la PYMES que se encuentran relacionadas con la fase de producción de los muebles.

El modelo también se encuentra diseñado con una segunda parte, la misma que está conformada por las variables: pedidos, clientes, precio del producto (se considera esta variable con el precio promedio de los productos que oferta la empresa), ingresos, costos totales y beneficios. La variable de beneficios se puede considerar la que tiene mayor importancia para los propietarios de la empresa por cuanto la misma conforme a la investigación realizada denota el ingreso positivo o negativo que la empresa puede tener conforme a la programación que se le dé al modelo.

En concordancia con lo detallado hasta el momento, el modelo puede ser activado o simulado conforme a los requerimientos que la PYMES de producción lo desee, sin importar la fecha de su aplicación por cuanto lo importante del modelo son los datos que en su momento deben ser ingresados.

V. VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación del modelo generado fue factible ejecutarlo en la empresa objeto de estudio, la cual brindó todas las facilidades para su investigación y aplicación del mismo. Las simulaciones efectuadas se realizaron considerando un horizonte de tiempo de 60 meses, tomando en cuenta para dichas simulaciones las variables de clientes, ingresos, costos y beneficios. Es importante señalar la factibilidad que presenta el modelo en la posibilidad de realizar cualquier tipo de simulación en la variable que la PYMES objeto de estudio desee ejecutar.

La recopilación de datos para dichas simulaciones fue realizada por el lapso de 6 meses, fundamentalmente en la recolección de los datos iniciales, por lo que a continuación se presenta la simulación de las variables de producción, almacenamiento y clientes:

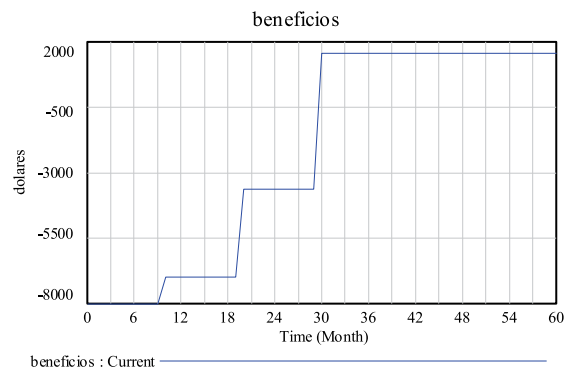


Figura 6. Simulación en función de clientes, almacenamiento y producción

En la figura 6 es factible visualizar, como la producción disminuye, el almacenamiento se incrementa y los clientes se incrementan hasta el mes 30 a partir de esa fecha permanecen estancados con lo cual sus bodegas incrementan el número de unidades por cuanto no existe venta de los mismos, más allá de lo previsto inicialmente.

Estos resultados presentan un futuro incierto para la empresa, por cuanto estos presentan la posibilidad cierta de que en un momento determinado la empresa pueda cerrar sus actividades por la falta de clientes.

Una simulación importante efectuada en base a los datos recopilados es la de los beneficios, variable que es el resultado de restar los costos totales y los ingresos; cuyo resultado se muestra en la siguiente figura:

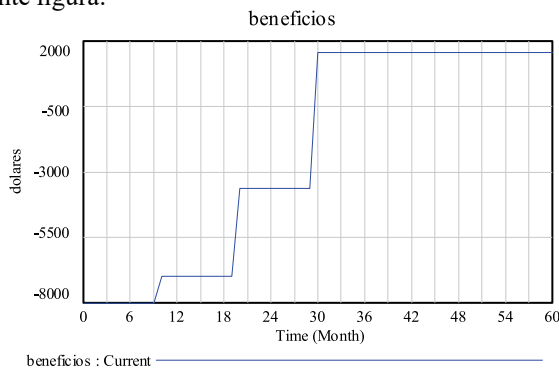


Figura 7. Simulación en función de la variable beneficios

En esta simulación, es de fácil lectura y factible darse cuenta de que la empresa estará a futuro en problemas de dinero, por cuanto sus resultados denotan que la misma estará trabajando a pérdida, se recuperará a partir del mes 30 pero su valor de utilidad o ganancia será mínima en función de las utilidades que la misma desearía obtener.

Prosiguiendo con el trabajo de presentar resultados, a continuación se presenta la simulación respectiva de los ingresos, beneficios y costos totales:

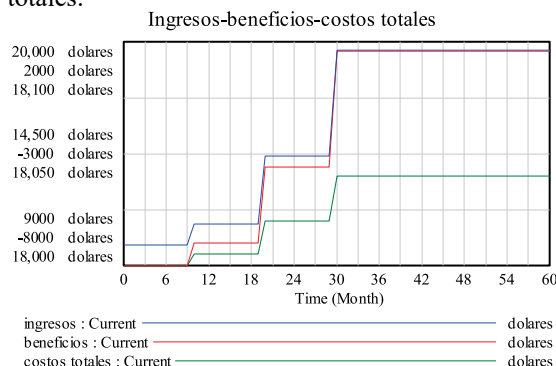


Figura 8. Simulación en función de las variables de ingresos, beneficios y costos totales

En la figura es factible apreciar que los ingresos están en un valor aproximado de los 9.000,00 dólares y se incrementan hasta un valor cercano de 20.000,00 dólares, pero los costos inicialmente poseen un valor de 18.000,00 dólares, lo que evidencia el porqué de la variable beneficios, en cuanto a pérdida económica o una utilidad mínima.

Con las simulaciones presentadas, es factible señalar que el modelo generado es de vital importancia para la empresa y resulta una herramienta de gran ayuda para la PYMES objeto de estudio. Es de anotar que las simulaciones que se pueden efectuar en el modelo son de cualquier índole y de cualquier variable, dependiendo de las necesidades de la pequeña y mediana empresa.

VI. CONCLUSIONES

El trabajo realizado demuestra la importancia de la aplicabilidad de un modelo de simulación o diagrama de flujos; en este caso mediante la utilización de la dinámica de sistemas, lo cual permite a la PYMES corregir sus estrategias o actividades, buscando encontrar posibles soluciones anticipadas a los problemas que se le presentan o se le presentarían en un futuro.

Este modelo demuestra que el trabajo efectuado muy a pesar de ser de carácter netamente técnico posibilita visualizar y simular variables administrativas conjugando las mismas en un solo escenario.

El aporte fundamental que entrega esta investigación, es presentar variables cuantitativas y cualitativas; que sin ser una gran cantidad denotan las falencias o virtudes que dicha empresa posee en la actualidad.

El modelo presenta variables que analizadas de una manera individual o en conjunto reflejan el avance o retroceso que la empresa podría tener en un futuro, por lo que se espera que dicho modelo sea una herramienta que la empresa lo utilice de una manera periódica, buscando analizar diversos escenarios que se les podría presentar.

De la misma forma al utilizar la metodología de la dinámica de sistemas y conforme a la literatura presentada en el acápite de introducción, es factible concluir que es posible elaborar modelos o diagramas causales y de flujos sin importar el tamaño o tipo de empresa que lo requiera realizar, por cuanto la dinámica de sistemas es una metodología que facilita analizar el comportamiento temporal de una variable en diversos sistemas.

VII. REFERENCIAS

- [1] ANZOLA, S. (2010). “Administración de la pequeña empresa” (3° ed.). México: McGraw Hill Interamericana.
- [2] BURNEO, M Y MIÑO, W. (2010). Políticas de apoyo a las pymes en América Latina. Entre avances innovadores y desafíos institucionales. En C. Ferraro y Giovanni Stumpo (Coords.), “Políticas e instituciones de apoyo a las pymes en el Ecuador” (pp. 209-244). Santiago de Chile: CEPAL
- [3] CEBALLOS, Y., URIBE, M. Y SANCHEZ, G. (2013). “Modelo de dinámica de sistemas para la predicción del comportamiento del mercado porcícola”. URL: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v24n4/art13.pdf>
- [4] CLERI, C. (2012). “El libro de las PYMES”. Buenos Aires: Granica.
- [5] FERRARO, C. Y STUMPO, G. (2010). Políticas de apoyo a las pymes en América Latina. Entre avances innovadores y desafíos institucionales. En C. Ferraro y Giovanni Stumpo (Coords.), “Las pymes en el laberinto de las políticas” (pp. 17-44). Santiago de Chile: CEPAL
- [6] LEGARDA, L., PORTUGAL, J., NARANJO, A., AGUILAR, M., CASTILLO, M. (2016). “Cadena de suministros para productos en seco de PYMES. Una aproximación al modelo causal”. URL: <http://www.redalyc.org/pdf/2150/215048805003.pdf>
- [7] MELO, R., LOPEZ, C., CAMACHO, C., ESPARZA, A., VILLA, R. (2012). “Simulación dinámica de sistemas, una herramienta para el análisis del desempeño de sistemas y procesos en la industria petrolera: Metodología y resultados”. URL: <http://www.redalyc.org/pdf/482/48224413007.pdf>
- [8] MARTÍN, J. (2016). “Dinámica de sistemas conceptos”. Barcelona: Innova
- [9] SAMANIEGO, H. (2017). “Desarrollo de un modelo de Gestión Empresarial para potencializar el crecimiento de la pequeña y mediana empresa (PYMES) en la región centro norte de Quito, Ecuador”. Tesis de doctorado sin publicar. Universidad Internacional Iberoamericana. México

VIII. Autor



Hernán Washington Samaniego Guevara, recibió su título de Doctor PHD en Proyectos con línea de investigación en modelación y simulación de la Universidad Internacional Iberoamericana de México en el año 2017, obtuvo su título de maestría en la Escuela Politécnica Superior del Ejército en el Ecuador; ha laborado en empresas farmacéuticas, alimenticias, financieras, hidroeléctricas entre otras. Actualmente combina sus actividades profesionales con la docencia universitaria. Ha participado como expositor en congresos internacionales como el CLAIO y ELAVIO; ha publicado artículos científicos en revistas especializadas como DYNA MANAGEMENT entre otras, las cuáles se encuentran indexadas a Science Citation Index Expanded (factor de impacto JCR= 0.302); Scopus, Pascal, Recyt, Elsevier, Proquest, Latindex, Georef, Dialnet, Icyt, Sumaris, Inspec, Latindex, Scopus, Clase, Doaj y Proquest.

Comportamiento de los Stakeholders en el Proceso de Autoevaluación de una Institución de Educación Superior Modelo de Dinámica de Sistemas

A.P. Vera, F.A. Olarte, A.A. Beltrán, J.P. Cruz
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

RESUMEN—

La educación superior en Colombia desde el año 1992 experimentó un crecimiento exponencial con la Ley 30 de 1992 por la cual se organizó el servicio público de la Educación Superior. En uno de sus artículos, se invita a colaborar con las Instituciones de Educación Superior (IES) para estimular y perfeccionar sus procedimientos de autoevaluación. Esta investigación presenta entonces un análisis del comportamiento de los actores en el proceso de autoevaluación de una IES a través de la metodología de Dinámica de Sistemas (DS), en particular en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Se construyó un diagrama causal el cual incluye las variables del sistema y las relaciones entre ellas, junto con los respectivos comportamientos de balance y refuerzo. Posteriormente, se desarrolló el modelo Forrester, incluyendo las variables de comportamiento relevantes. Este proyecto estudia la percepción, el comportamiento y la participación de los actores relevantes frente a los procesos de autoevaluación como métodos de mejora continua para los programas académicos y por tanto de la institución. El estudio también analiza el impacto de nuevas políticas sobre el proceso. El modelo fue desarrollado utilizando el software de simulación iThink (Versión 9.1) y contempla cuatro escenarios para analizar el comportamiento del sistema. Los resultados del estudio revelan entre otros que el compromiso de los actores se mejora notablemente si no existe la presión ejercida por un ente de control central u Oficina de Desarrollo Institucional (ODI), al igual que favorece la generación de políticas que permiten mejorar el proceso y por tanto cambiar el comportamiento de los actores frente al mismo. Las conclusiones de este estudio evidencian la aplicabilidad de la DS en la educación superior y en la toma de decisiones estratégicas que inciden en la productividad de una IES.

Palabras clave—

Autoevaluación, Dinámica de Sistemas, Comportamiento, Educación Superior.

I. INTRODUCCIÓN

La búsqueda constante del aseguramiento de la calidad en las Instituciones de Educación Superior (IES) ha suscitado en el medio el interés de los expertos en dicha temática y el

acercamiento de investigadores interdisciplinarios, es así que en los países está regulada dicha calidad mediante los procesos de autoevaluación, los cuales son permanentes, participativos y reflexivos, en donde se muestran las fortalezas y debilidades tanto a nivel de los programas académicos como institucional logrando así el mejoramiento continuo.

Para Colombia, los procesos de autoevaluación en una IES actualmente se realizan con fines diferentes: autorregulación, renovación del registro calificado de los programas académicos, acreditación de programas y renovación, acreditación de la institución y su renovación. Para cada proceso las IES emplean modelos diferentes, cuyos resultados serán exitosos si la participación de los *stakeholders* es proactiva, por tal motivo, esta investigación estudia el comportamiento de los *stakeholders* frente a los procesos de autoevaluación a través de la metodología de Dinámica de Sistemas (DS).

Los *stakeholders* en esta investigación serán entendidos como aquellos grupos o individuos sobre los que la organización depende para su supervivencia, además quienes puedan afectar o que son afectados por el logro de los objetivos de la organización, y para el caso de las IES se encuentran clasificados en dos tipos, externos tales como: bachilleres, padres, colegios, egresados, sector productivo, sector social, IES pares nacionales e internacionales, donantes, gobierno nacional, sector financiero y agencias financiadoras; e internos: profesores, estudiantes, gobierno universitario y administrativos [1].

II. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Las IES para sus procesos de aseguramiento de la calidad han adoptado el término de autoevaluación tal como lo indica el Ministerio de Educación Nacional [2] como un proceso de reflexión, análisis y toma de decisiones, que es liderado por el rector junto con el equipo directivo y la comunidad

institucional, cuya pretensión es conocer sus fortalezas y oportunidades de mejora, y así determinar el progreso tanto de los programas académicos como de la institución, frente a las metas trazadas por ellas mismas enmarcadas por la legislación colombiana.

Así, para la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, la autoevaluación se entiende como un proceso encaminado a comprobar si la institución está cumpliendo con la misión, que constituye la razón de ser de su existencia. Esa misión le señala a la institución un rumbo que la compromete con el mejoramiento continuo de la calidad y la búsqueda de la excelencia, tanto de los procesos de formación como del producto a que ella da lugar [3].

Actualmente, la autoevaluación se realiza para fines tales como: autorregulación, renovación del registro calificado, acreditación institucional y de sus programas y sus respectivas renovaciones. En búsqueda de este fin, cada institución de acuerdo con su filosofía institucional, opta por desarrollar modelos independientes para dar respuesta a sus necesidades, lo cual dificulta la gestión del proceso porque se duplican los procedimientos, la aplicación de instrumentos, reuniones, entre otros.

En esta investigación se estudia específicamente el comportamiento de los actores en el proceso de autoevaluación con el fin de renovación del registro calificado. En la Figura 1 se muestra el proceso general que sigue la Institución para realizar las renovaciones de los registros calificados de los programas académicos:



Figura 1. Proceso de Renovación del Registro Calificado. (Elaboración Propia).

Comprender el comportamiento humano conlleva a la comprensión de las actitudes, conductas o formas de reaccionar de las personas ante cualquier situación, cosa o su entorno de trabajo [4]. Las preguntas que se abordan en este estudio de comportamiento humano son: ¿qué factores afectan el comportamiento de las personas involucradas directamente y que son responsables de los procesos de autoevaluación

institucional? ¿cuáles variables influyen en mejorar o empeorar

la actitud de los *stakeholders* frente a estos procesos?

Los procesos de aseguramiento de la calidad en educación superior involucran diferentes variables e interrelaciones como el tiempo, el número de personas involucradas en el proyecto, el conocimiento de los responsables en dichos procesos, particularmente en el proceso de autoevaluación bien sea con fines de autorregulación, renovación del registro calificado, acreditación de programas y su renovación o acreditación institucional; por lo tanto, la cantidad de variables y relaciones que influyen en el sistema de conducta es significativa aumentando su complejidad.

Así pues, el estudio del funcionamiento del proceso de autoevaluación con sus *stakeholders* se realiza a través de la metodología de DS, la cual según [5] facilita la identificación del problema, que para este caso es el comportamiento de los *stakeholders* frente a los procesos de autoevaluación, y permite la construcción de un modelo de simulación del sistema donde se analice las causalidades alrededor del cambio en el comportamiento de los actores para plantear estrategias que puedan mejorar los procesos de autoevaluación. Las actitudes, como lo afirma Monroy, corresponden a las expresiones psíquicas del ser humano: el pensar, el sentir y la voluntad (Monroy 1994, citado en [4]). La actitud de todos los involucrados es un factor primordial para el éxito de los procesos de autoevaluación, por esto, es necesario conocer los pensamientos, sentimientos y la manera de actuar de los *stakeholders* frente a los procesos de autoevaluación.

Es en este sentido que cobra importancia analizar el comportamiento de los actores en el proceso de autoevaluación a través de la metodología de DS, lo cual permite identificar las variables de mayor influencia en su comportamiento de y generar políticas para mejorar la actitud de los *stakeholders* en el proceso de autoevaluación. Los hallazgos de este estudio buscan ser un referente para cualquier IES interesada en llevar a cabo estos procesos.

III. ANTECEDENTES

Hablar de DS es hacer referencia a la infinidad de nociones que trae consigo el concepto sistema, el cual se entiende como un conjunto de partes entre las que se establece alguna forma de relación que las articula en la misma unidad, es decir, en un sistema de otro nivel [6].

La DS es una metodología de modelado, cuya importancia se centra en la comprensión de las situaciones problemáticas actuales de las organizaciones y en la toma de decisiones que puede generarse por medio de las políticas creadas a partir del modelo. Para citar un ejemplo, es importante mostrar la contribución de la DS en el estudio de sistemas socio- ecológicos, realizado por El Sawash et al. [7] quienes al

examinar las cuestiones susceptibles en los procesos de modelado, proporcionaron orientación sobre cómo diseñar e implementar eficazmente un modelo y concluyeron que todos están determinados por modelos y problemas mentales [7].

Sterman [8] afirma que los modelos de simulación son descriptivos y permiten diseñar y establecer políticas para mejorar el rendimiento. Sin embargo, el factor humano hace que los sistemas se vuelvan cada vez más complejos lo cual conduce a una toma de decisiones que sobrepasa la capacidad cognitiva. De este modo se emplean heurísticas que si bien permiten tomar mejores decisiones producen errores sistemáticos.

En este sentido, la investigación de Bourguet et al. [9] describe la implementación de la técnica de modelado de DS propuesta por Sterman [8], para la simulación de procesos críticos del Centro de Desarrollo Profesional de la Universidad Norte- Mexicana el cual permitió el diseño de políticas para el futuro y la incorporación de dos variables de control: nivel de planificación y publicidad.

Por otra parte, la DS como herramienta también se ha implementado en los estudios de percepciones, tal es el caso del modelo realizado por Udouj et al. [10] quienes identifican el grado de percepción que los directores de programas de educación básica tienen sobre la calidad de los programas, el sistema de gestión, la gestión de recursos humanos y un ambiente de aprendizaje adecuado; igualmente demuestran que la mayoría de los directores perciben la implementación de indicadores como un apoyo a la calidad del programa en todas sus áreas.

Esta metodología también ha sido utilizada en el sector de la educación, en particular se encuentra el estudio sobre la educación técnica realizado en India desde el año 1995, donde se experimentó un crecimiento exponencial que afectó la calidad de los graduados de ingeniería dada la división entre la academia y el sector productivo. En este proyecto Upadhyay y Vrat [11] analizan el impacto de la interacción de la educación técnica mediante un modelo basado en simulación y logran explicar el impacto de la interacción industria-academia en la mejora de la calidad de la educación técnica. También demuestran que la participación de la industria en el mundo académico es una propuesta rentable para ambas partes interesadas y que la participación proactiva de la industria es esencial para mejorar la calidad de la educación técnica. Por otra parte, la investigación de Rehg [12] presenta el caso de una IES donde se utiliza el mapeo de sistemas en paralelo a un proceso de planificación estratégica para profundizar la comprensión de las conexiones entre subsectores del sistema y obtener ideas dinámicas para la toma de decisiones y la implementación de políticas. Existe un campo abierto para la investigación y exploración de la DS como una herramienta para mejorar los procesos complejos que se llevan a cabo en una IES.

IV. METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto toma como referencia el trabajo

realizado por Rehg [12] donde se desarrolló un modelo de DS para soportar las decisiones estratégicas de una IES en Estados Unidos, que modela la interacción entre los estudiantes, profesores y administrativos. Es destacable el proceso que se llevó a cabo para recopilar los modelos mentales de todos los involucrados, a través de una metodología basada en reuniones con grupos de personas de cada una de las partes que pudieran ser afectadas que permitían levantar adecuadamente las variables, las relaciones entre ellas y las posibles políticas e interacciones.

Para este trabajo se desarrolló la siguiente metodología:

1. Revisión de la literatura: el objetivo de esta etapa es profundizar el conocimiento sobre la problemática y conocer la aplicación que se le ha dado a la DS en los procesos de gestión de una IES y en el estudio de la percepción y comportamiento de sus actores relevantes.
2. Caracterización y formulación de los procesos de decisión o comportamientos relevantes del sistema: se desarrollan sesiones de entrevistas con los directores de los grupos base (encargados de la construcción del documento para la renovación del registro calificado), para tener una idea clara de las principales interacciones del sistema, los procesos de decisión y conocer las variables que ellos identifican como las más importantes. Como resultado de esta etapa se obtiene un diagrama de ciclos causales que representa el comportamiento de los *stakeholders*. El formato guía de preguntas utilizado para las entrevistas y el resumen de las respuestas obtenidas se encuentran en el Anexo 1.
3. Construcción del diagrama de Forrester: con base en los modelos mentales recopilados en el ejercicio de las entrevistas y plasmados en el diagrama causal, se procede a desarrollar el diagrama de niveles y flujos.
4. Análisis del comportamiento del sistema frente a cambios en sus parámetros: teniendo un modelo confiable que represente adecuadamente el comportamiento de las actitudes de los involucrados en el proceso de renovación del registro calificado, se analizan distintos escenarios que permitan entender la estructura del sistema y generar políticas de intervención para mejorar los resultados.

V. IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTORES RELEVANTES DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Cómo se menciona anteriormente, el proceso de renovación del registro calificado involucra a todas las áreas de la Institución. A continuación, se listan los actores con sus principales intereses y decisiones:

- Consejo Directivo: tiene como interés que los documentos del proceso de renovación sean coherentes con la filosofía institucional y que se asegure la renovación del registro calificado.

- Consejo Académico: comparte los mismos intereses que el Consejo Directivo.
- Secretario General: su interés es el de recibir el documento en las fechas estipuladas.
- Decano: es el principal interesado en la renovación del registro calificado de su programa, así como hacerlo con eficiencia y sin costos operacionales altos.
- Grupo Base: son los encargados de la construcción del documento para la renovación del registro, sus intereses no solo competen la entrega del mismo, adicionalmente se preocupan por tener una carga laboral balanceada.
- Profesores: están interesados en la renovación del registro, pero no están involucrados en el proceso.
- Estudiantes: están interesados en la renovación, pero igualmente no participan en el proceso.
- Oficina de Desarrollo Institucional (ODI): es una entidad de la Institución cuyo fin es asegurar que los procesos de aseguramiento de la calidad se lleven a cabalidad. Son los responsables de instruir a decanos y grupos base sobre los procesos de renovación y sirven de guía en el proceso del desarrollo del documento maestro.

Como primera fase de esta investigación en curso, se estudia el comportamiento y su efecto en el proceso de renovación, de los actores encargados de ejecutarlo, es decir los decanos de cada programa académico y sus grupos base, compuestos por profesores del mismo programa. Por lo tanto, para el desarrollo del modelo se consideran únicamente las actitudes de estos dos grupos.

VI. DIAGRAMA DE CICLOS CAUSALES

Con base en la información recolectada en las entrevistas realizadas a los diferentes directores de los grupos base de la Institución para la caracterización y formulación de los procesos de decisión o comportamientos relevantes del sistema,

se construyó el diagrama de ciclos causales que se muestra en la Figura 2. La percepción de los *stakeholders* conceptúa que no hay claridad en los procesos de autoevaluación, esto con un rango de respuesta de 27,3% a 36,4% (ver Anexo 1). Las variables identificadas en el modelo son las siguientes:

- Completitud del documento: medición del cumplimiento del contenido del documento maestro, frente a las condiciones exigidas por el Ministerio de Educación Nacional.
- Tiempo para la renovación del registro calificado: tiempo restante para el vencimiento del registro calificado que tiene actualmente el programa.
- Presión ejercida por la ODI: son las acciones a través de las cuales la ODI exige el cumplimiento de la completitud del documento a los demás actores.
- Resultados de autorregulación: es la evaluación que se hace 2 años luego de la obtención del registro calificado. Genera carga de trabajo para las operaciones de registro calificado.
- Resultado de la autoevaluación: es la evaluación que se hace 5 años luego de la obtención del registro calificado. Genera carga de trabajo para las operaciones de registro calificado.
- Productividad: es la tasa a la cual es producido el documento, es decir, afecta positivamente la completitud del documento.
- Disponibilidad de tiempo: tiempo que tienen los actores para la elaboración del documento según su carga normal de trabajo.
- Tamaño del documento maestro: esta variable es afectada por el resultado de la autoevaluación, ya que define la cantidad de trabajo que se debe realizar.
- Proactividad: respuesta constante y acoge a las personas que consideran importante el proceso.
- Interés: por realizar la tarea. Contrario a indiferencia, pereza y desinterés.
- Compromiso: nivel de importancia del proceso para las personas, que afecta la proactividad de las personas (conciencia de la importancia).
- Sobrecarga laboral: diferencia entre la carga normal de trabajo y la carga adicional por falta de compromiso.
- Carga normal de trabajo: corresponde a 40 horas de trabajo semanal.
- Carga registro calificado: tiempo que se asigna para completar el proceso.
- Reactivo: respuesta que depende del tiempo que falta para la entrega del documento y acoge a las personas que consideran que el proceso solo es un requisito.
- Diferencia entre proactivos y reactivos: es la diferencia entre las personas proactivas y reactivas, que termina afectando la sinergia del grupo.
- Completitud del documento: nivel de finalización del documento.
- Tiempo para entregar el documento: tiempo faltante para realizar entrega del documento.

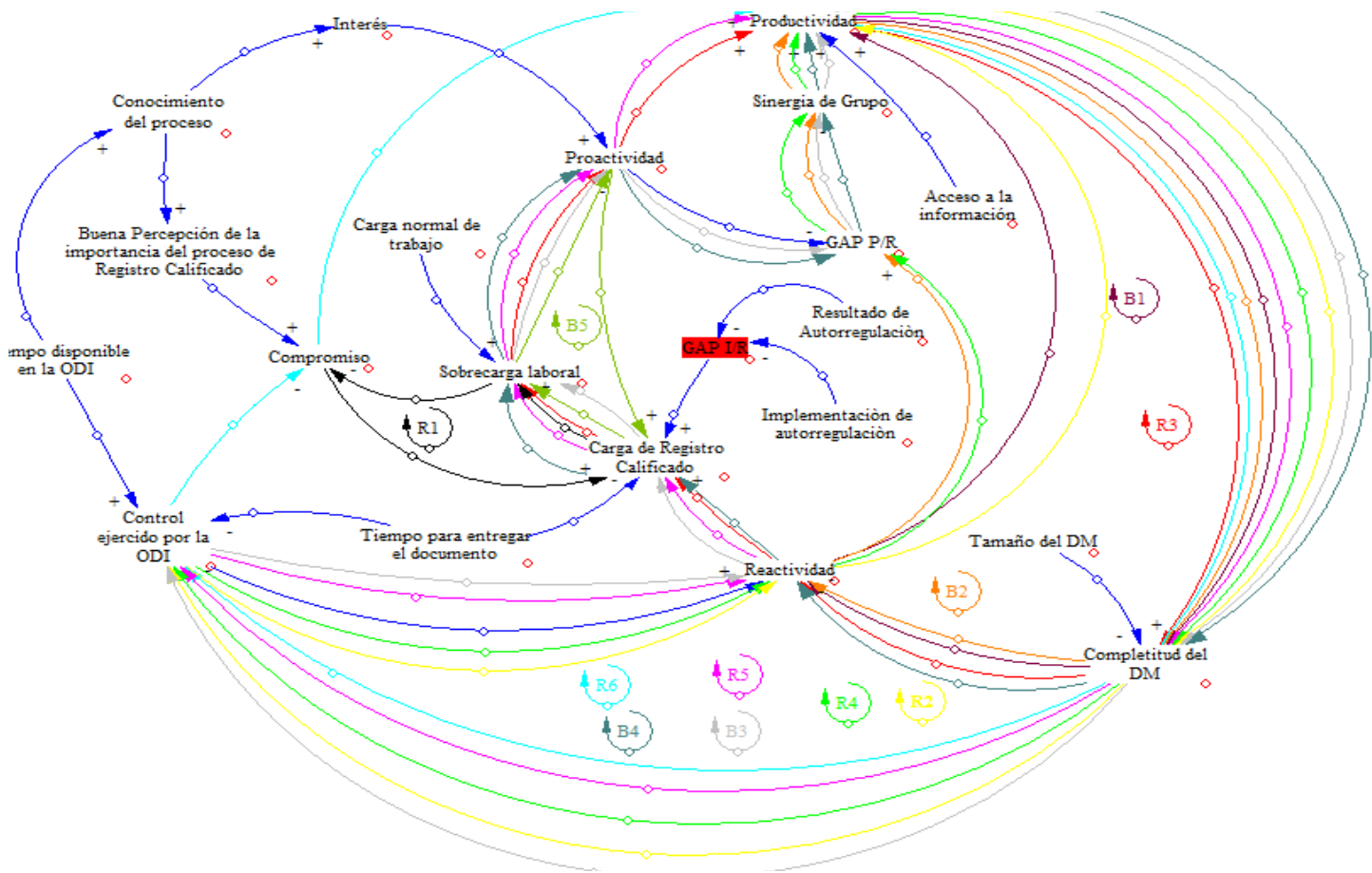


Figura 2. Diagrama de Ciclos Causales – Proceso de Renovación del Registro Calificado. (Elaboración Propia).

- Conocimiento del proceso: porcentaje de comprensión del proceso de autoevaluación con fines del registro calificado.
- Sinergia de grupo: capacidad de concordancia del grupo para la elaboración del documento, que afecta la productividad.
- Acceso a la información: reduce o aumenta la productividad.
- Resultado de autoevaluación: cantidad de mejoras a realizar según último registro calificado.
- Tiempo disponible de la ODI: que afecta el conocimiento de los procesos y la cantidad de control que puede ejercer para afectar las demás variables.
- Control ejercido por la ODI: afecta la reactividad (+) y el compromiso (-) de las personas.
- Percepción de la importancia del proceso de registro calificado: afectada por el conocimiento del proceso y afecta el compromiso.

Las relaciones que se generan entre las variables anteriormente mencionadas son complejas ya que son numerosas entre ellas, generan diferentes ciclos de realimentación de balance y refuerzo y múltiples subsistemas. El todo de este sistema es más que la suma de sus partes.

El diagrama causal relaciona 11 ciclos principales, de los cuales 6 son de refuerzo y 5 son de balance. Dentro de los ciclos de balance encontramos en la Figura 3 el B5 producido por la relación entre las variables proactividad, carga registro calificado y sobrecarga laboral. Éste describe la relación entre la proactividad y carga adicional de trabajo relacionada al registro calificado. A mayor proactividad, más carga en el proceso de registro calificado, lo que aumenta la sobrecarga laboral disminuyendo la proactividad.

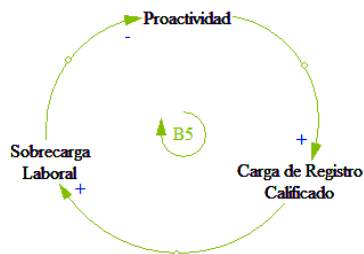


Figura 3. Ciclo de Balance entre Proactividad, Sobrecarga laboral y Carga registro calificado- (Elaboración Propia).

En la Figura 4 se observa el ciclo de refuerzo de la proactividad R3 que describe la relación de la completitud del documento maestro y la influencia de variables de reactividad y proactividad de los actores. Éste muestra cómo la proactividad afecta la completitud del documento a la misma vez que ejerce una reactividad por parte de los actores e induce a una sobrecarga laboral.



Figura 4. Ciclo de Balance entre Proactividad, Sobrecarga laboral y Carga registro calificado- (Elaboración Propia).

Los demás comportamientos se resumen a continuación:

B1: describe el comportamiento de la reactividad de los actores para lograr la completitud del documento.

B2: relaciona la completitud del documento y la relación del gap entre proactividad y reactividad de los actores.

B3: describe la relación de la completitud del documento maestro y la influencia de variables de reactividad y proactividad de los actores influenciado por el control ejercido por la ODI.

B4: describe la relación de la completitud del documento maestro y la influencia del gap entre variables de reactividad y proactividad de los actores.

R1: relaciona el compromiso y la sobrecarga dada por el registro calificado.

R2: muestra cómo el control ejercido por la ODI afecta la reactividad de los actores y su influencia en la completitud del documento.

R4: relaciona la completitud del documento y la relación del gap entre proactividad y reactividad de los actores al tener la influencia del control de la ODI.

R5: relaciona la completitud del documento y la relación de la reactividad de los actores al tener la influencia del control de la ODI.

R6: describe la relación del compromiso de los actores y su influencia en la completitud del documento maestro.

VII. DIAGRAMA DE FORRESTER

La Figura 5 muestra el diagrama de niveles y flujos construido a partir de la interacción entre todas las variables. Fue necesario determinar tres niveles, completitud del documento, compromiso y proactividad. La medida de desempeño más importante es la variable completitud del documento, ya que el proceso de registro calificado debe completarse en un lapso máximo de 50 meses y es la variable que determina el comportamiento de todas las demás variables.

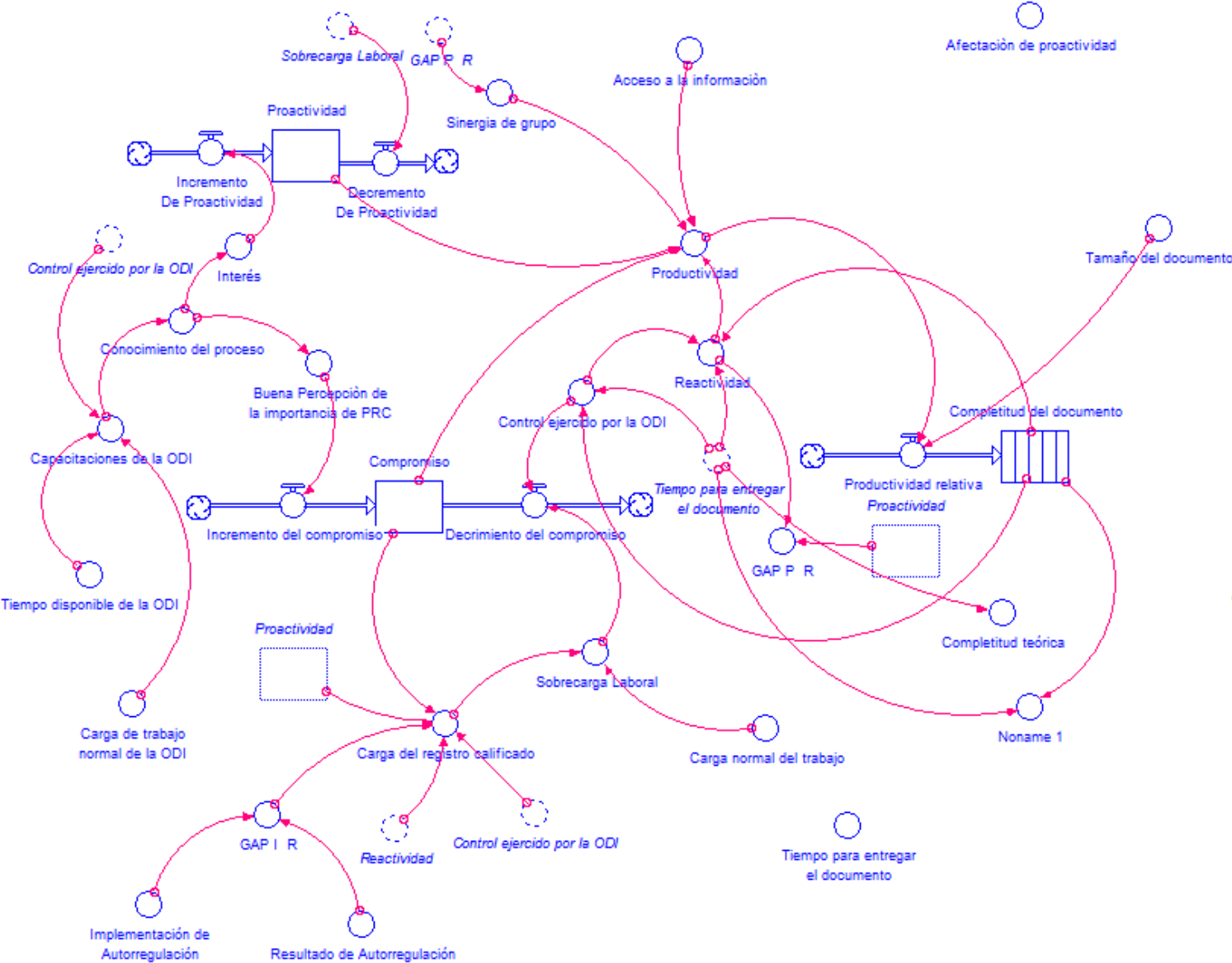


Figura 5. Diagrama de Forrester – Niveles y Flujos – Proceso de Renovación del Registro Calificado. (Elaboración Propia).

El nivel proactividad corresponde al comportamiento identificado en el ciclo B5, donde se genera una relación con las variables proactividad, carga de trabajo y sobrecarga de trabajo.

El nivel compromiso se definió como nivel debido a que es la variable más determinante de la productividad, que a su vez es la variable que determina la tasa de completitud del documento. El compromiso es resultante de la interacción entre el interés en el proceso de renovación, el control ejercido por la ODI y la sobrecarga laboral. Una persona comprometida, al tener sobrecarga laboral, tenderá a cansarse y disminuir sus niveles de compromiso.

De la misma manera, cuando un ente realiza control sobre las actividades, las personas encargadas se acostumbran al control y tienden a esperar a recibir la orden para tomar la iniciativa de desarrollar su trabajo.

La Figura 6 muestra una parte del diagrama total enfocado en la completitud del documento del documento maestro. Como se puede observar, la completitud solo se ve afectada por la productividad relativa, que es una variable afectada por la productividad del equipo y por el tamaño del documento, lo que indica que, aunque un equipo sea muy productivo, si el tamaño del documento es muy grande, el tiempo para completarlo igualmente será mayor. De ahí el concepto de productividad relativa.

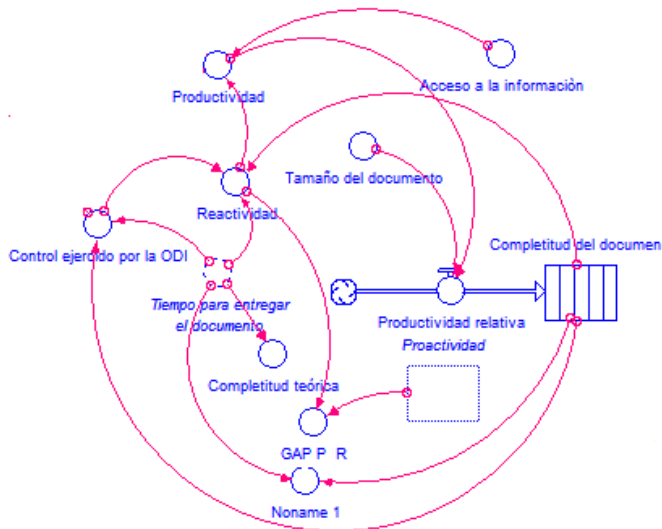


Figura 6. Acercamiento a la Completitud del Documento. (Elaboración Propia).

La Figura 7 muestra variables relacionadas con el nivel proactividad. Se puede ver que la productividad es incrementada por efecto del interés y que este a su vez es un resultado del conocimiento de los procesos. Una persona proactiva tiende a emprender más proyectos y actividades, lo que conlleva eventualmente a una sobrecarga laboral, pero dicha sobrecarga desincentiva la proactividad.

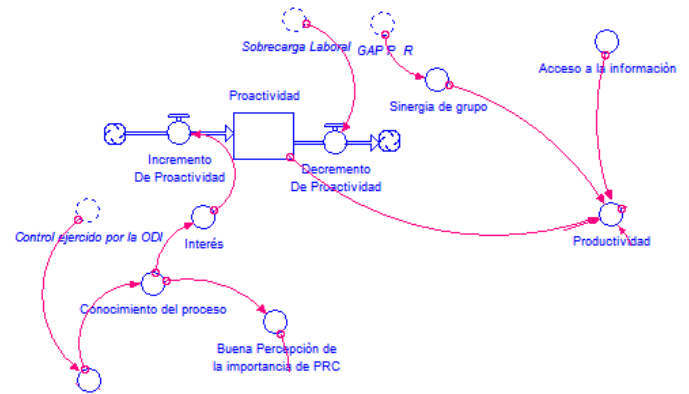


Figura 7. Acercamiento a la Proactividad. (Elaboración Propia).

Los valores iniciales de los niveles, así como de los parámetros y variables del modelo, fueron determinados con base en la información recolectada por medio de las entrevistas realizadas y en conjunto con un experto miembro de la ODI quien conoce el comportamiento de la ejecución de los procesos. En el Anexo 2 se muestran las ecuaciones del modelo.

VIII. VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo desarrollado corresponde a la recopilación de los modelos mentales de los actores relevantes identificados. Si bien desde la DS al igual que desde cualquier campo ningún modelo podrá reflejar en totalidad los comportamientos reales, el modelo construido en el presente estudio fue sometido a algunas de las pruebas sugeridas por Sterman [8] para validar que permite entender la complejidad del sistema y poder generar políticas y escenarios que mejoren la toma de decisiones de los actores involucrados.

La Figura 8 muestra la evolución del compromiso durante el desarrollo del proceso de autoevaluación con fines de renovación del registro calificado, en ésta se observa cómo el grupo base inicia con un alto nivel de compromiso y a medida que pasa el tiempo éste disminuye a una alta velocidad.

Cuando el tiempo para la entrega del documento se empieza a agotar, nuevamente el equipo recupera su compromiso debido a la presión ejercida por la ODI, la necesidad de completar el documento y la responsabilidad de entregarlo para asegurar el futuro del programa.

Este comportamiento mostrado en la gráfica es acorde con el comportamiento que se evidencia en la realidad, lo que refleja que el modelo es válido.

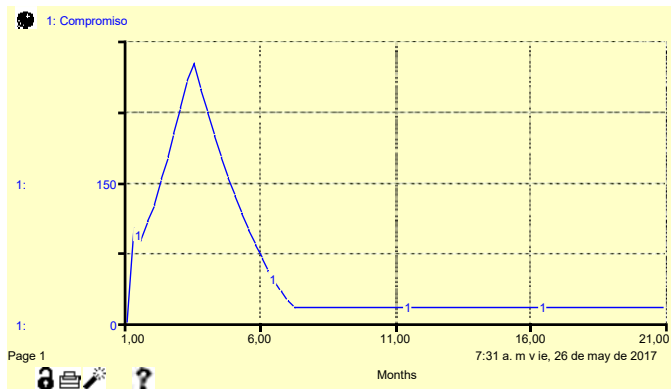


Figura 8. Validación – Evolución del Compromiso.

En la Figura 9 se muestra la productividad relativa, que igualmente refleja un comportamiento acorde con la realidad, ya que al inicio del proceso todo el equipo trabaja y la productividad es alta, sin embargo, a medida que el tiempo transcurre y se presenta falta de seguimiento, su productividad disminuye.

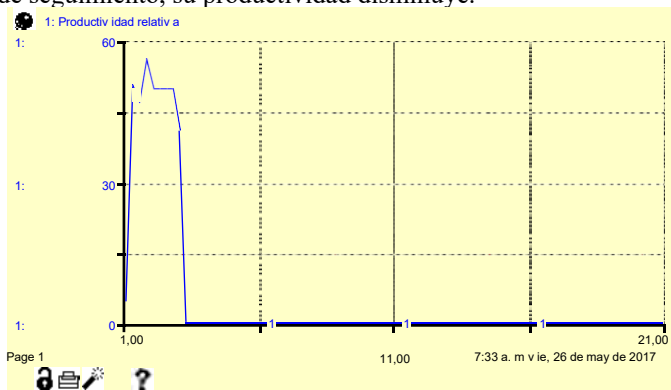


Figura 9. Validación – Evolución de la Productividad Relativa.

Adicionalmente, bajo parámetros extremos, el comportamiento del modelo es coherente en relación a los resultados esperados. Por último, el modelo fue validado por un experto miembro de la ODI quien dio su aval de acuerdo a los procesos que se manejan desde el ente de control de la Institución.

IX. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El modelo de DS se simuló por un periodo de 21 años. Los resultados del estudio revelan principalmente que el compromiso de los actores se mejora notablemente si no existe la presión ejercida por un ente de control como la ODI, al igual que favorece la generación de políticas que permiten mejorar el proceso y por tanto cambiar el comportamiento de los actores frente al mismo.

En la Figura 10 se comparan 2 escenarios, en el primero, el azul, se mantiene igual el efecto del conocimiento del proceso mientras que en el segundo, el rojo, el efecto del conocimiento se incrementa en un nivel de 5 puntos. En esta gráfica se muestra la completitud del documento y se puede observar cómo en el segundo se completa el documento 4 meses antes que el primer escenario gracias al conocimiento del proceso de renovación de registro cal-

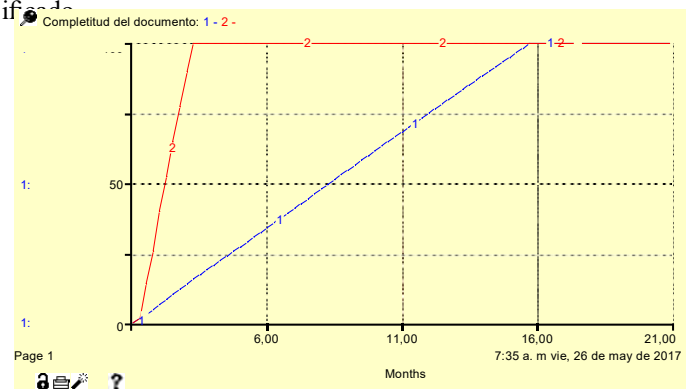


Figura 10. Completitud del Documento versus Conocimiento del Proceso.

Igualmente se observa que un incremento en el conocimiento de los procesos genera mayor compromiso como se muestra en la Figura 11 donde el en el escenario 2 (rojo) el compromiso es mayor.

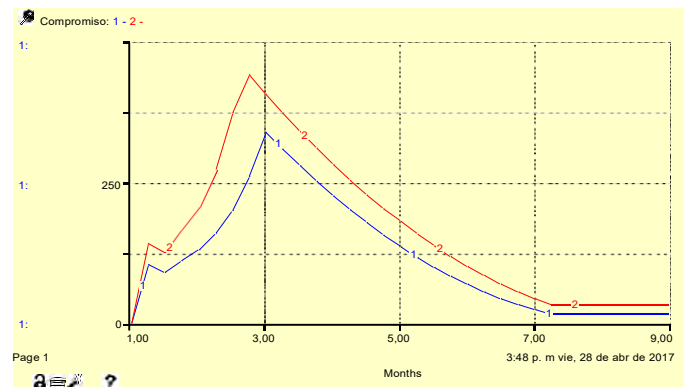


Figura 11. Compromiso versus Conocimiento del Proceso.

En los cuestionarios aplicados, se observa que los stakeholders reconocen los procesos de autoevaluación como importantes y necesarios para el mejoramiento continuo, tanto de los programas académicos como la institución. Lo cual también se evidencia en el modelo en la Figura 11, donde se muestra que, a mayor conocimiento del proceso, el compromiso de los stakeholders también es mayor. Este hallazgo hace evidente la responsabilidad y rigurosidad que conllevan estos procesos en la educación superior.

Al modificar el efecto de la presión ejercida por la ODI se evidencia que la completitud del documento maestro se obtiene en un

tiempo menor en comparación con la variación en el conocimiento del proceso. Por lo cual resulta importante su variación en el sistema como se evidencia en la Figura 12.

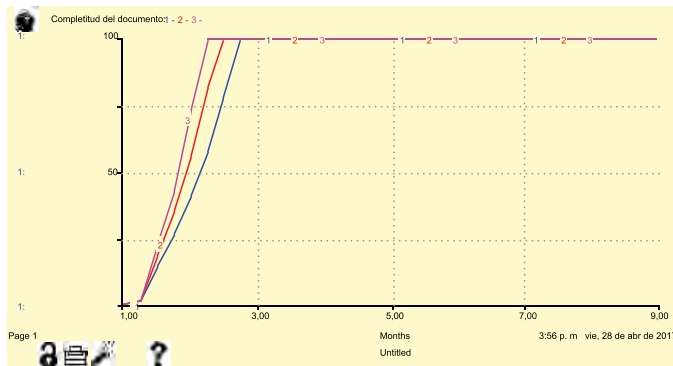


Figura 12. Completitud del Documento versus Presión de la ODI.

De acuerdo con los resultados anteriores se puede recomendar como política generar un plan de capacitaciones más eficiente desde la importancia de los procesos de autoevaluación en una IES hasta su metodología, para culminar con éxito los procesos de renovación de registro calificado.

Adicionalmente se evalúa el efecto que tiene la ODI sobre la completitud del documento y la sobrecarga laboral. En la Figura 13, se muestran 4 distintos escenarios que corresponden a diferentes comportamientos para el control ejercido por la ODI, el primero de ellos corresponde a una función que reacciona conforme se compara la completitud teórica del documento contra la completitud real, entre mayor sea la diferencia, mayor es el control ejercido. El segundo caso (en rojo) corresponde con una presión más agresiva, incrementando su efecto en 1.5 veces. El tercer caso corresponde con una presión constante desde el principio (línea violeta) y el último caso a no realizar ninguna presión.

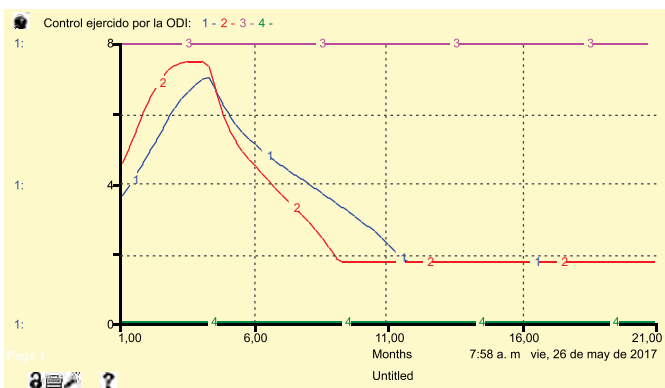


Figura 13. Escenarios de Control Ejercido por la ODI.

Se puede observar en las Figuras 14 y 15 el efecto de cada escenario sobre la completitud del documento y la sobrecarga laboral obteniéndose un resultado sorprendente característico de los sistemas complejos.

Si bien incrementar el rigor de la presión ejercida por la ODI termina en una más rápida completitud del documento, no es comparable su efecto con realizar una presión constante desde el principio o el hecho de no realizar ninguna presión.

Como efecto de realizar una presión constante, se obtiene una máxima presión sobre el equipo que los obliga a trabajar con más eficacia. Sin embargo, al no realizar ninguna presión, el equipo trabaja mucho más, terminando antes y presionándose más.

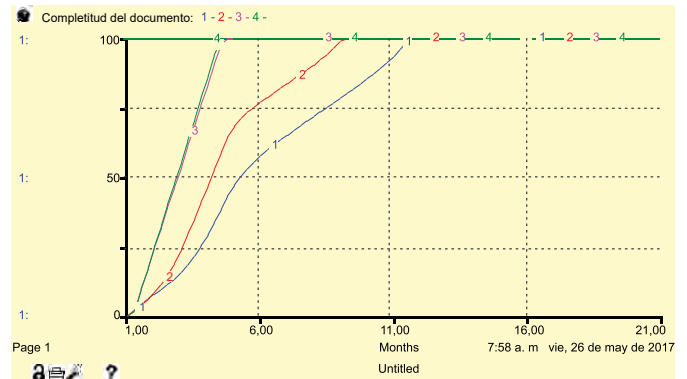


Figura 14. Completitud del Documento para cada Escenario de Presión Ejercida por la ODI.

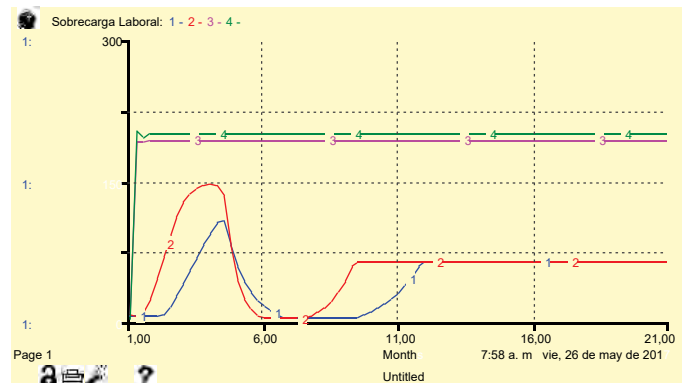


Figura 15. Sobrecarga Laboral para cada Escenario de Presión Ejercida por la ODI.

La razón por la cual se manifiesta este fenómeno es que el tiempo que puede dedicar la ODI a otras actividades, principalmente a las de capacitación, se incrementa considerablemente. Por ende, los patrones de proactividad y compromiso cambian de manera significativa. En la Figura 16 es posible observar cómo se modifica el tiempo que puede dedicar la ODI a los procesos de capacitación de acuerdo con cada uno de los escenarios.

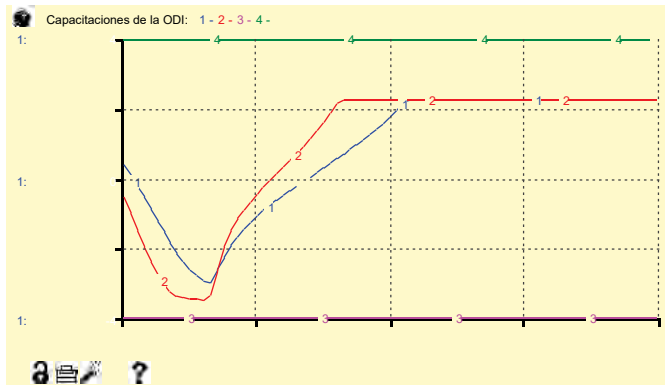


Figura 16. Tiempo que Dedicar la ODI a Capacitaciones para cada Escenario de Presión.

En las Figuras 17 y 18 se puede observar cómo la proactividad y el compromiso se hace máxima para el escenario en que la ODI dedica más tiempo a capacitaciones en vez de a realizar presión sobre el grupo.

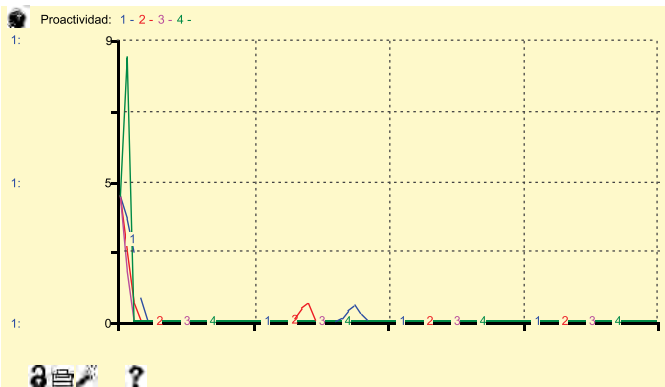


Figura 17. Proactividad del Grupo Base para cada Escenario de Presión Ejercida por la ODI.

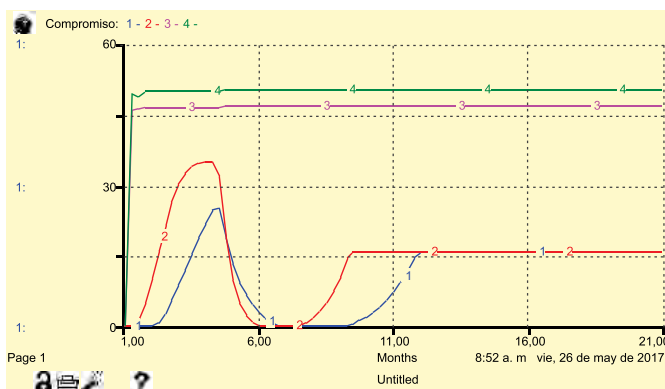


Figura 18. Compromiso del Grupo Base para cada Escenario de Presión Ejercida por la ODI

Po último, la proactividad es una actitud que no siempre genera un comportamiento deseado para el sistema, ya que puede incrementar la sobrecarga laboral y generar ciclos de balance entre la

productividad y la carga laboral. Esto se puede evidenciar con el comportamiento de la Figura 18, en donde inicialmente se exige una gran proactividad por parte del grupo base, pero la sobrecarga de trabajo generada termina por reducirla rápidamente. Sin embargo, es importante recalcar que aun cuando la proactividad se agota no sucede lo mismo con el compromiso, que sigue firme a pesar del exceso de trabajo.

X. CONCLUSIONES

- El presente artículo muestra los resultados del análisis del comportamiento de los actores en el proceso de autoevaluación de una IES a través de la metodología de DS, en particular en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Haciendo uso de la DS se construye un modelo de ciclos causales y de niveles y flujos que permite evaluar el comportamiento del sistema desde diferentes escenarios.
- El modelo construido permite estudiar las actitudes, conductas o formas de reaccionar de los stakeholders en el proceso de autoevaluación con el fin de renovación del registro calificado. Entre los hallazgos, la proactividad y la reactividad de las personas está relacionada con la productividad de los procesos. Éstas a su vez están relacionadas con la carga laboral de las personas y el conocimiento que se tenga de los procesos. Esto se evidencia directamente con los resultados obtenidos al modificar los parámetros de tiempo para capacitaciones que utiliza la ODI en vez de usarlo en tiempo para ejercer presión. La cantidad de compromiso y proactividad alcanzan niveles de más del doble en comparación con escenarios donde se ejerce una presión paulatina.
- El interés y el compromiso de las personas están íntegramente relacionados con comprender la importancia del proceso. Este comportamiento asociado con la estructura del sistema se relaciona con la percepción de los stakeholders entrevistados quienes conceptuaron que no hay claridad en los procesos de autoevaluación.
- La proactividad es una actitud que no siempre genera un comportamiento deseado para el sistema, ya que puede incrementar la sobrecarga laboral.
- Los stakeholders reconocen en las entrevistas realizadas que los procesos de autoevaluación son importantes y necesarios para el mejoramiento continuo tanto de los programas académicos como la institución. El modelo evidencia como a mayor conocimiento del proceso, el compromiso de los stakeholders también es mayor. Los resultados de este estudio ponen en evidencia la responsabilidad y rigurosidad que conllevan estos procesos en la educación superior.

- Por último, se logra evidenciar que la DS es aplicable en el sector educativo, específicamente para estudiar y entender el comportamiento del sistema de aseguramiento de la calidad de una IES. Los resultados de este estudio son un referente para cualquier IES que desee mejorar sus procesos de autoevaluación. El modelo de DS construido permite mejorar la toma de decisiones de los actores y entes de control con miras a aumentar la productividad y calidad de sus procesos.
- Como estudios a futuro los autores reconocen la posibilidad de incluir dentro de la investigación las percepciones y relaciones de causalidad que aportan las visiones de los otros actores relevantes en la situación problemática y en el sistema como los profesores, estudiantes, Consejo Directivo, Consejo Académico, Secretario General y la ODI. A nivel del entorno del sistema también es posible ampliar la frontera e incluir la percepción de empresarios, familias, ciudadanos, gobierno, y en Ministerio de Educación Nacional, entre otros.

XI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por su apoyo para la realización de esta investigación. Así mismo, agradecen a todos los Decanos y miembros de los Grupos Base que colaboraron participando activamente en la entrevista y diligenciamientos de cuestionarios.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Velandia, «Guía para el Desarrollo de Buenas Prácticas Universitarias,» Ediciones Uniandes, Bogotá D.C., 2011.
- [2] Ministerio de Educación Nacional, «Autoevaluación: Ministerio de Educación Nacional,» 20 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.mineducacion.gov.co>.
- [3] Oficina de Desarrollo Institucional (ODI), «Aseguramiento de la Calidad: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito,» 20 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.escuelaing.edu.co>.
- [4] C. E. Cobo, «El Comportamiento Humano,» Cuadernos de Administración, Cali, 2011.
- [5] M. Schaffernicht, Indagación de Situaciones Complejas Mediante la Dinámica de Sistemas, Talca: Universidad de Talca, 2008.
- [6] J. Aracil y F. Gordillo, Dinámica de Sistemas, Madrid: Alianza Editorial, 1995.
- [7] S. Elsawash, S. Pierce, S. Hamilton, H. Van Delden y D. Haase, «An Overview of the System Dynamics Process for Integrated Modelling of Socio-Ecological Systems: Lessons on Good Modelling Practice from Five Case Studies,» 2017.
- [8] J. Sterman, Business Dynamics, Estados Unidos: McGraw-Hill, 2000.
- [9] R. Bourguet, G. Ángel, J. Jaramillo y R. Rodríguez, «Modelación Dinámica de Sistemas Aplicada a la Vinculación,» Guayaquil, 2014.
- [10] G. Udouj, K. Grover, G. Belcher y K. Kacirk, «An Investigation of Perceptions of Programme Quality Support of Adult,» Evaluation and Program Planning, pp. 106-112, 2017.
- [11] L. Upadhayay y P. Vrat, «Analysis of Impact of Industry-Academia Interaction on Quality,» Computers & Industrial Engineering, pp. 313-324, 2016.
- [12] M. Rehg, «Using Systems Mapping to Inform the Strategic Planning Process,» California, 2015.
- [13] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «Construcción de una escala de actitudes tipo Likert: SI-AFA,» Abril 2003. [En línea]. Available: <http://www.siafa.com.ar/notas/nota164/escalera.htm>.

ANEXOS

Anexo 1. Formato Guía de Preguntas para las Entrevistas y Resumen de las Respuestas Obtenidas.

Los *stakeholders* son los actores principales para el proceso de autoevaluación y en este sentido, se consideraron a los líderes de este proceso en la Escuela, quienes son la Vicerrectora Académica, los Decanos, los Directores de Departamento y Profesores.

Es así, que para conocer las actitudes, conductas o formas de reaccionar de los *stakeholders* en este proceso se realizó una prueba piloto mediante el diseño y aplicación de dos cuestionarios, el primero compuesto por 15 ítems (preguntas cerradas), con una escala aditiva tipo Likert: Siempre, Con frecuencia, En ocasiones, Rara vez y Nunca, ya que es la más utilizada en el estudio de las actitudes sociales [13]. Y el segundo de cuatro preguntas abiertas con el fin de conocer la percepción de los *stakeholders* y contar con insumos para la elaboración del diagrama causal.

A continuación, se relacionan los resultados de la aplicación del cuestionario de preguntas cerradas:

N°	Pre-gunta	Siempre	Con frecuencia	En ocasiones	Rara vez	Nunca
1	Los procesos de autoevaluación le aportan desarrollo al programa académico evaluado o a la institución.	72,7%	27,3%			
2	Son importantes y necesarios los procesos de autoevaluación.	81,8%	18,2%			
3	Considera que los procesos de autoevaluación son una oportunidad para mejorar.	72,7%	18,2%	9,1%		
4	¿Se tiene claridad en los procesos de autoevaluación?	27,3%	54,5%	9,1%	9,1%	
5	Los procesos de autoevaluación están dentro de sus compromisos laborales.	45,5%	36,4%	9,1%	9,1%	
6	Toma usted la iniciativa en los procesos de autoevaluación bien sea para el programa o la institución.	36,4%	36,4%	18,2%	9,1%	
7	Asume con responsabilidad los procesos de autoevaluación.	81,8%	18,2%			
8	Busca ser original, creativo e innovador en la realización de las actividades de los procesos de autoevaluación.	27,3%	72,7%			
9	Para realizar los procesos de autoevaluación debe contar con conocimientos generales sobre ello.	54,5%	9,1%	36,4%		
10	Cumple con lo estrictamente necesario en los procesos de autoevaluación.	36,4%	18,2%	18,2%	9,1%	18,2%
11	¿Está de acuerdo con los procesos de autoevaluación?	90,9%	9,1%			
12	¿Actúa con decisión frente a los procesos de autoevaluación?	63,6%	27,3%	9,1%		
13	Sigue las orientaciones dadas en los procesos de autoevaluación.	90,9%	9,1%			
14	Los procesos de autoevaluación son flexibles y adaptables a los cambios.	27,3%	45,5%	9,1%	18,2%	
15	Si se presentan inconvenientes durante el proceso de autoevaluación, usted ¿intenta buscar una solución?	81,8%	9,1%	18,2%		

Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a los resultados cualitativos, a continuación, se relacionan las respuestas de los *stakeholders*:

Nº	Pregunta	Re-spuesta
1	¿Qué Comportamientos cree usted que tienen las personas frente al proceso de autoevaluación de los programas académicos?	• Quita tiempo. • Proactividad. • Pereza, desinterés, falta de participación. • Algunos lo asumen con empeño, otros son esquivos y pasivos, generando sobrecarga a quienes sí lo asumen con responsabilidad. • Tareas adicionales generando apatía. • Se asume como oportunidad para seguir mejorando y fortaleciendo los programas. • El proceso de autoevaluación no se concibe como parte del proceso de mejoramiento continuo sino como un requisito. • El comportamiento es de colaborar en el proceso. • No conocen la importancia del proceso. • Son procesos pesados que no aportan. • Requisito del Ministerio de Educación.
2	¿Cuáles son las principales dificultades que identifica para participar efectivamente en los procesos de autoevaluación?	• No hay claridad del proceso, no hay tiempo, mi carga no es suficiente, es difícil poner de acuerdo a las personas, las reuniones son largas y no son productivas. • Muchas actividades son mecánicas y podrían apoyarse más en monitores o auxiliares administrativos. • Compromiso de las personas, facilidad y claridad en la información. • Las oportunidades de mejoramiento y las fortalezas detectadas con el modelo no siempre corresponden a la realidad del programa. • Falta de información de la comunidad. • La falta de compromiso de los profesores, el hecho de que el proceso se vuelva responsabilidad de unos pocos y que se trasladen los compromisos a la ODI. • Falta de un sistema de información integral que posibilite el trabajo operativo de los informes. • La participación de personas que ya no están en la institución: Graduados o que no pertenecen a ella Empresarios o que no pertenecen directamente al programa. • Falta de planeación, compromiso y continuidad.
3	¿Para usted, cuáles son las principales variables que afectan el proceso de autoevaluación?	• Organización, cronograma, metodología, participación activa de los involucrados, tiempo, recursos. • Conocimiento y entendimiento de los procesos de autoevaluación y trabajo en equipo. • Cantidad de información histórica, que a veces no se tiene con el mismo rigor. • Tiempo. • Zona de confort • La carga de los profesores, la actitud hacia los procesos de autoevaluación, el hecho de que siempre participen las mismas personas. • Tiempo dispuesto para su desarrollo, calidad y disponibilidad de la información.
4	¿Para usted, cuáles son las principales variables que afectan la actitud de las personas en el proceso de autoevaluación?	• Socialización, cambios de cultura, incluir a las personas en la autoevaluación. • Que algunas cosas no estén bien definidas, por ejemplo, que los insumos tales como encuestas y otros no estén listos (tabulados) para analizar. • Carga de trabajo, claridad en la información y en los procesos. • Divulgación adecuada de la información. • El compromiso. • La poca importancia que se le da a los procesos de autoevaluación. El hecho de que participar en un proceso de autoevaluación implique salir de la zona de confort. • Tener que hacer un esfuerzo adicional para tener información confiable y oportuna. • La falta de continuidad en el proceso y falta de información sobre los periodos anteriores. • Amplio espacio entre los eventos (desarrollo y revisión).

Fuente: Elaboración Propia.

Modelo de Dinámica de Sistemas para el Estudio del Índice de Deserción Universitaria en una Institución de Educación Superior

Sebastián Amaya Porras§, Andrés Felipe Rojas Ortiz§, María Alejandra Goenaga Zamora§, Carlos Daniel Rozo Herrera±, Joan Paola Cruz González± sebastian.amaya@mail.escuelaing.edu.co, andres.rojas-o@mail.escuelaing.edu.co, maria.goenaga@mail.escuelaing.edu.co, carlos.rozo@mail.escuelaing.edu.co, joan.cruz@escuelaing.edu.co §Decanatura de Ingeniería de Sistemas, ±Decanatura de Ingeniería Industrial Escuela Colombiana de Ingeniería

Resumen—Según el Ministerio de Educación Nacional, actualmente el país tiene un déficit de graduados profesionales y para el 2015, el 41% de los estudiantes que lograron iniciar una carrera universitaria o técnica profesional, desertaron de sus estudios. El entendimiento de las causas que llevan al estudiante a tomar esta decisión y cómo intervenir este sistema para disminuir la deserción es una inquietud que surge en las instituciones educativas. Este artículo presenta un modelo de dinámica de sistemas para el estudio del comportamiento de los estudiantes de educación superior que durante su formación toman la decisión de desertar. Factores como su rendimiento académico, estabilidad económica o los beneficios por parte de instituciones educativas y financieras a los que los estudiantes pueden acceder, son objeto de estudio por la influencia que tienen en el proceso de toma de esta decisión. El modelo se desarrolla con base en las estadísticas de deserción de una institución de educación superior en la ciudad de Bogotá, Colombia y permite entender este comportamiento complejo gracias al panorama que muestra de la interrelación que existe entre los factores de influencia en los índices de deserción universitaria. Los resultados muestran cómo las políticas de intervención por parte de las instituciones educativas y entes gubernamentales, tienen un impacto positivo en la disminución de la deserción de los estudiantes de primeros semestres, es decir la población más vulnerable del sistema.

Palabras clave—Dinámica de Sistemas, Deserción Universitaria, Ciclos Causales, Niveles y Flujos, Educación Superior.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas relevantes en el ámbito social colombiano no es la baja cantidad de individuos graduados de programas de educación superior profesional debido a la imposibilidad de matricularse a una universidad y a que los individuos luego de empezar la carrera universitaria, la dejan sin terminar. Esto a casusa de los variados aspectos sociales, económicos, étnicos y políticos que intervienen en el filtro que impide a los estudiantes de programas profesionales culminar con su graduación.

Según el Ministerio de Educación Nacional, el déficit de graduados profesionales se debe no únicamente a que de estudiantes que anualmente se gradúan de bachillerato, sólo el 45% logra ingresar a la Educación Superior [1], sino también al conjunto de circunstancias que afectan al estudiante generando su retiro en el trans-

curso de su carrera. Según la misma entidad, en 2015 desertaron a nivel universitario el 9% de los estudiantes y en carreras técnicas profesionales el 32,6% [1].

En el caso específico de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, la gestión continua para el control de los niveles de deserción en los programas académicos de pregrado que la Institución presta es una iniciativa presente. La problemática existente en el país y la intención de contribuir a la gestión que se realiza actualmente en las instituciones educativas, justifica la necesidad de un análisis de las interrelaciones dinámicas de este comportamiento, para la búsqueda de patrones y tendencias que den razón de las principales variables que generan los niveles de deserción estudiantil en programas de educación superior y cómo contrarrestarlas.

La caracterización de este sistema y un estudio de la interacción dinámica de sus variables es significativo para la generación de resultados dicientes respecto a la causa de los niveles de deserción escolar universitaria, razón por la cual se propone realizarlo bajo un enfoque de dinámica de sistemas donde se aborde el conjunto de aspectos que influyen en el proceso educativo del estudiante de un programa profesional, en primer lugar desde un enfoque general, para en segundo lugar proceder a un escenario específico, en este caso la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito ubicada en Bogotá, Colombia. Con este caso de estudio particular, se busca generar inferencias respecto al sistema actual y proponer políticas en pro de la disminución de dichos niveles, que además puedan ser referentes para otras instituciones educativas.

En la sección II se realiza la caracterización del sistema actual junto con sus actores relevantes y procesos de decisión, posteriormente en la sección III se muestra la

conceptualización dinámica del sistema haciendo uso de un modelo de ciclos causales. En la sección IV se presenta el modelo de simulación desarrollado, junto con su evaluación técnica. En la sección V se realiza la evaluación crítica del sistema a la luz de los resultados encontrados y las posibles políticas de intervención.

Finalmente, en la sección VI se discuten conclusiones y estudios futuros.

II. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

La caracterización del sistema se realiza con base en la definición de sistema planteada por Jackson [2] que propone la identificación de los actores y sus relaciones, así como la caracterización de su entorno. Para la identificación de los actores relevantes, así como sus interrelaciones, se tuvo en cuenta la literatura encontrada sobre deserción escolar [3], [4], [5], [6], [7], [8], una encuesta virtual realizada a 130 estudiantes de la Institución sobre sus experiencias y razones por las cuales consideran que pueden desertar de sus estudios, y la percepción y experiencias que como estudiantes y profesor tienen los autores. En la Tabla I se relacionan las preguntas realizadas.

TABLA I
ENCUESTA SOBRE DESERCIÓN UNIVERSITARIA

Preguntas
¿Eres estudiante de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito?
¿Qué carrera estudias?
¿En qué semestre estás?
¿Has trabajado para pagar tus gastos académicos (matrícula, fotocopias, libros, transporte, etc.)?
¿Cuentas con un crédito o beca otorgada por la universidad?
¿Cuentas con un crédito o beca otorgada por alguna entidad externa?

Fuente: Los Autores.

Según el Ministerio de Educación Nacional, la deserción es una problemática que afecta no solo a la persona y a su círculo familiar si no a la sociedad, frenando el progreso del país al no contar con profesionales adecuados que se enfrenten a los retos del mercado [7]. La Figura 1 muestra la tasa de deserción por nivel de formación para el periodo 2015, donde se destaca la deserción de la formación técnica profesional como el índice más alto (32,6%) que en conjunto con la deserción universitaria suman el 41%.

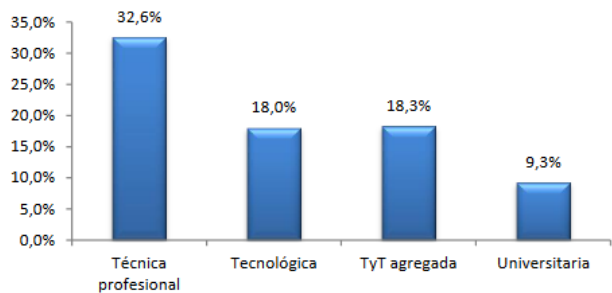


Figura 1: Tasas de deserción de acuerdo al nivel de educación
Fuente: Ministerio de Educación Nacional [7].

Los jóvenes que logran ingresar a la educación superior se enfrentan a un cambio de ambiente de colegio a universidad en donde deben aprender a desenvolverse en un nuevo entorno con nuevas exigencias como mayor autonomía, disciplina, responsabilidad propia de un adulto y ser medido cuantitativamente o a través de una nota, lo que les ejerce más presión. La psicología define los factores que provocan la deserción de los estudiantes identificando aspectos personales tales como la dificultad en la carga académica, expectativas personales del éxito, sentimiento de apoyo familiar ante situaciones adversas y la percepción que da el estudiante a su entorno universitario, lo que genera un debilitamiento en sus intenciones iniciales [9]. También existen casos en donde el factor económico está involucrado, por lo tanto, estudiantes con problemas de esta índole logran ingresar, pero a lo largo de la carrera no pueden seguir pagando su matrícula lo que los obliga a conseguir empleos, adicionando más carga y dificultad a su entorno.

Las entidades educativas son conscientes de muchos de estos factores que envuelven al estudiante. Para lograr incentivarlo tienen establecidas en su estructura organizacional áreas para el apoyo estudiantil, desde donde se formulan e implementan estrategias como actividades para desarrollar un sentimiento de pertenencia con la institución, más exigencia a los docentes en la calidad de la educación que proporcionan y disponibilidad de los recursos, centrándose así en brindar un buen servicio que influya positivamente en la decisión del estudiante de no abandonar sus estudios.

El gobierno considera la deserción estudiantil un problema grave para Colombia porque al tener menos graduados el país tiene menos capital humano que pueda desempeñarse en un entorno laboral estable [8]. Por esta razón, desarrolla estudios para identificar factores y variables que afecten la deserción, actividades de seguimiento a este fenómeno, establece nuevas metas y desarrolla las normativas y leyes que ayuden a cumplirlas.

Con base en la identificación de los comportamientos más relevantes del sistema, se caracteriza el sistema de la deserción escolar que se encuentra en la Figura 2.

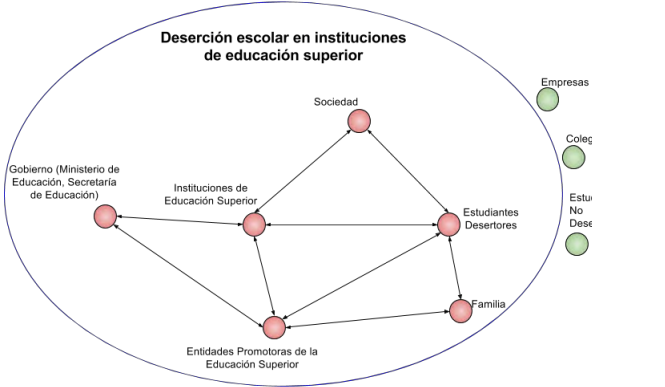


Figura 2: Caracterización del Sistema de Deserción Escolar en Instituciones de Educación Superior.
Fuente: Los Autores.

Como podemos observar, dentro del sistema que se tiene en consideración, podemos encontrar actores como el gobierno, que tiene la labor de regular a las instituciones y a las entidades promotoras de la educación superior, así como generar políticas o estrategias para disminuir los niveles de deserción en el país. En cuanto a las instituciones, está claro que su mayor interés es velar por el bienestar de los estudiantes y que estas buscan que los estudiantes se gradúen exitosamente. Uno de los factores que afectan la deserción escolar, es el factor económico representado en las familias, es por esto que las entidades promotoras de la educación que buscan brindar ayuda a los estudiantes que tienen dificultades económicas, son parte fundamental del sistema. Tanto la familia como la sociedad son actores que afectan directamente a los estudiantes y aportan variables individuales que causan en el estudiante la posible deserción. Las empresas que buscan profesionales para desempeñar sus roles y los colegios que actúan como orientadores para los estudiantes en el proceso de escoger su futuro universitario, se toman como elementos del entorno.

En cuanto al sistema presentado, el comportamiento más relevante y que es el foco principal de este estudio es la decisión que toma el estudiante de desertar. Existen diferentes factores que afectan el comportamiento de los estudiantes dentro del sistema en cuestión (ver Figura 3), que a su vez influyen en el tipo de respuestas que tienen los demás actores involucrados.

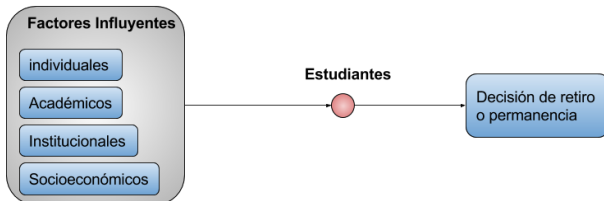


Figura 3: Factores que Afectan el Comportamiento de los Estudiantes dentro del Sistema.

Fuente: Los Autores.

Los factores enmarcados en cuatro categorías diferentes son los siguientes [6]:

- Individuales
 - Edad, género, estado civil.
 - Entorno familiar.
 - Entorno social.
- Académicos
 - Orientación vocacional.
 - Colegio
 - Rendimiento académico.
 - Programa académico escogido.
 - Resultados obtenidos (calificaciones).
- Institucionales

- Recursos universitarios.
- Becas y formas de financiamiento.
- Entorno político.
- Interacción con profesores y otros estudiantes.
- Apoyo académico y psicológico.
- Socioeconómicos
 - Estrato.
 - Situación laboral, de padres y propia del estudiante.
 - Entorno macroeconómico del país.
 -

El proceso de la toma de decisión por parte del estudiante sobre su deserción afecta además no únicamente su propio comportamiento sino el de los demás actores del sistema, convirtiéndolo en un sistema complejo.

III. CONCEPTUALIZACIÓN DINÁMICA DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta la caracterización del sistema y los comportamientos identificados, se construye el modelo de ciclos causales en Vensim (ver Figura 4) que identifica la estructura de realimentación en términos de ciclos de balance y refuerzo que se describen a continuación:

Ciclos de balance

- B1: el ciclo de desarrollo de programas de apoyo permite visualizar cómo el aumento del nivel de deserción del sistema, aumenta la preocupación de las universidades incentivando el desarrollo de programas de apoyo para beneficio de los estudiantes, lo que genera una disminución en los niveles de deserción iniciales.
- B2: en el ciclo de desarrollo de estrategias para fomentar la educación por parte del gobierno se puede ver que al igual que en el anterior ciclo, el nivel de preocupación del gobierno aumenta a medida que aumenta el nivel de deserción de estudiantes, esto lleva a generar nuevas estrategias y junto con el presupuesto se ejecutan programas reales que permiten beneficiar a estudiantes para ayudar a disminuir el nivel crítico en el sistema, la deserción.
- B3: en el ciclo de deserción de estudiantes se ve reflejado el ciclo principal del sistema que muestra cómo el nivel de deserción se ve afectado por la cantidad de estudiantes que se encuentran estudiando y los que toman la decisión de desertar.

Ciclo de refuerzo

- R1: el ciclo de estudiantes beneficiados refleja otro de los comportamientos principales del sistema, en el momento en el que los estudiantes que se encuentran en la educación superior aumentan, se tendrán más estudiantes que se puedan beneficiar de programas de apoyo lo que permite disminuir los niveles de deserción dando como resultado tener más estudiantes que se encuentren en el sistema de educación superior.

IV. MODELO DE SIMULACIÓN

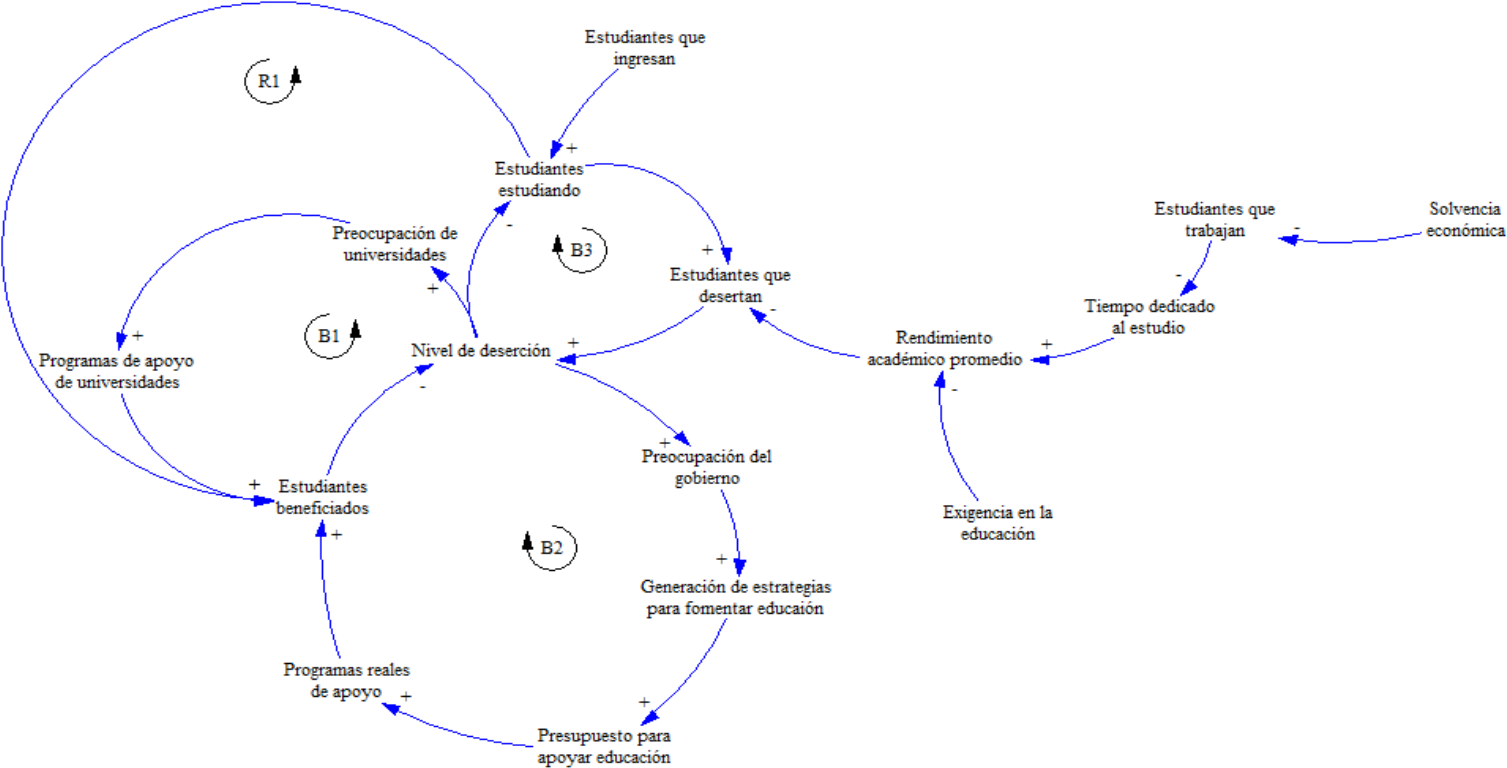


Figura 4: Diagrama de Ciclos Causales. Fuente: Los Autores.

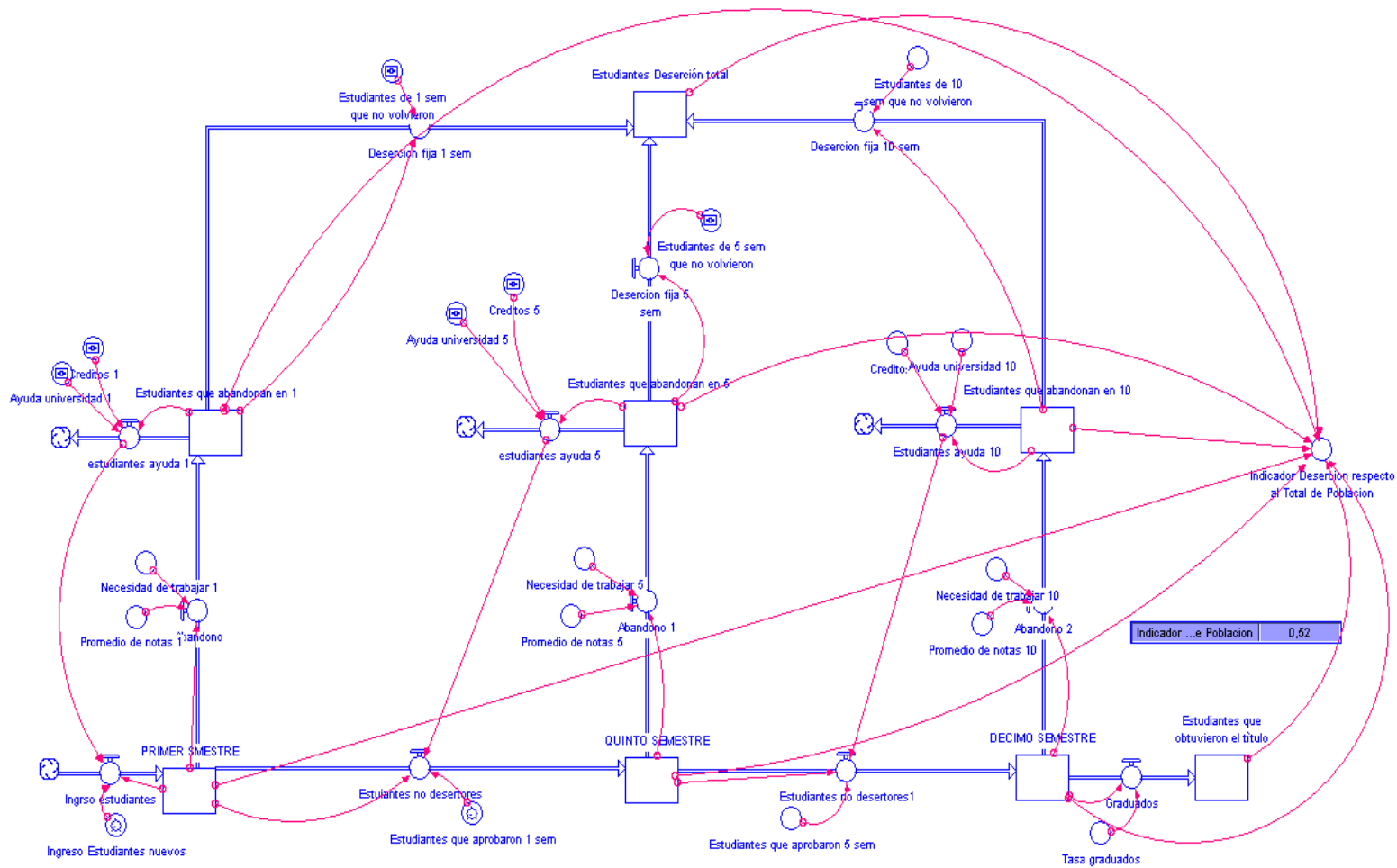


Figura 5: Modelo de Niveles y Flujos.
Fuente: Los Autores.

Para la construcción del diagrama de niveles y flujos, se tuvo en cuenta la estructura del sistema, así como los ciclos de realimentación identificados en el diagrama causal. Partiendo del modelo básico de comportamiento de población, se simuló la población de estudiantes en el transcurso de una carrera universitaria o profesional. Los estudiantes “nacen” en el momento en que ingresan a una institución de educación superior, se mantienen “vivos” a medida en que avanzan en sus estudios hasta culminar con la graduación, o “mueren” a cuando desertan o abandonan sus estudios (ver Figura 5).

Dentro de los factores que influyen en la deserción y que se tuvieron en cuenta para este estudio en la simulación, encontramos variables como la necesidad de trabajar para poder pagar los estudios, créditos financieros a los que pueden acceder los estudiantes, su promedio acumulado y las ayudas que otorgan las entidades educativas. Los valores iniciales del modelo, así como el cálculo de las variables, fueron determinados con base en estadísticas existentes y que fueron otorgadas por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Para el cálculo de las variables de ayuda por parte de la institución educativa o de créditos financieros por parte de externos se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en la encuesta realizada. El modelo resultante permite entender el comportamiento de los índices de deserción durante el transcurso de la carrera de los estudiantes. Así mismo, sugiere posibles políticas para mejorar el comportamiento del sistema, en este caso, para disminuir los flujos de abandono.

El modelo divide la población en 3 subsistemas o etapas dentro de la simulación (ver Figura 5):

- Estudiantes de primer semestre.
- Estudiantes de quinto semestre.
- Estudiantes de décimo semestre.

Teniendo en cuenta el comportamiento identificado de los niveles de deserción a medida que los estudiantes avanzan en sus estudios, los tres subsistemas tienen las siguientes características distintivas:

- Para los estudiantes de primer semestre la tasa de ingreso es más alta, así como lo es la sensibilidad de verse afectados por los distintos factores que los llevan a desertar tenidos en cuenta en este estudio.
- Para los estudiantes de quinto semestre la tasa de ingreso disminuye con respecto a la etapa anterior al igual que la sensibilidad a desertar.
- Para los estudiantes de décimo semestre la tasa de ingreso disminuye en comparación a las etapas anteriores y la sensibilidad a desertar es casi nula.

El flujo de estudiantes nuevos afecta el nivel de estudiantes de primer semestre y el flujo de estudiantes que no desertan afecta el nivel de las siguientes dos etapas. Cada etapa se ve afectada por el nivel de estudiantes que desertan y para la última etapa el nivel de estudiantes se ve afectado por el flujo de salida también de los

que se gradúan.

En el modelo *primer semestre, quinto semestre y décimo semestre*, representan los tres niveles del sistema, el conjunto de estudiantes de cada uno de los niveles representa la población total de estudiantes que se encuentran estudiando en la institución. El flujo que alimenta la primera etapa corresponde a los estudiantes nuevos que ingresan a la institución y a los estudiantes que vuelven a retomar sus estudios después de un proceso de deserción. A su vez, para las demás etapas el flujo de entrada se ve afectado por los estudiantes que logran superar la etapa anterior y los estudiantes que retoman sus estudios.

El flujo de salida para el último nivel se ve afectado por la tasa de estudiantes que logran graduarse. Los flujos de salida por deserción de cada etapa son afectados por factores como la necesidad de trabajar y el rendimiento académico. Los estudiantes desertores de primer semestre (*estudiantes D en 1*), de quinto semestre (*estudiantes D en 5*) y de décimo semestre (*estudiantes D en 10*) representan los niveles de deserción de cada etapa, estos se alimentan del flujo de abandono de las mismas. A su vez, estos niveles tienen un flujo de salida que se afecta por la cantidad de ayudas por parte de la universidad y la cantidad de créditos financieros que pueden beneficiar a estudiantes y evitar su deserción definitiva.

Por último, los estudiantes de *deserción total* representan el nivel de deserción definitiva del sistema que se alimenta por el flujo de salida de los estudiantes que desertan en cada etapa y que a pesar de los beneficios existentes no logran acceder a ellos o influir positivamente para que retomen sus estudios. El periodo de simulación determinado corresponde a 12 años porque se quiere hacer seguimiento de al menos 2 cohortes desde que los estudiantes inician sus estudios hasta que se gradúan (según experiencia de la oficina de registro y control académica de la Institución, en promedio un estudiante tarda 6 años en graduarse de las carreras profesionales cuyos planes de estudios son de 5 años). El modelo es construido en iThink. Las ecuaciones del modelo se pueden ver en el Anexo 1.

Evaluación Técnica del Modelo

De acuerdo con Sterman [10] un modelo es una representación simplificada del mundo real y por ende no puede ser validado. No obstante, reconociendo las limitaciones de este modelo, que se resumen en los aspectos que no fueron tenidos en cuenta en este estudio debido a su alcance y que se mencionan como estudios futuros al final del artículo, el modelo se evaluó a la luz de algunas de las pruebas de modelos dinámicos [10]. Los resultados obtenidos dan tranquilidad del propósito, uso y estructura del modelo, así como de su utilidad para entender el comportamiento del sistema y evaluar políticas para intervenirlo.

Se evaluó el modelo en condiciones extremas estableciendo el valor de la tasa de Ingreso Estudiantes nuevos igual a cero y manteniendo las demás condiciones iniciales. Para esta situación se espera que los niveles *primer semestre, quinto semestre y decimo*

semestre tiendan a tomar el valor de cero, por otro lado, los niveles de estudiantes *deserción total* y *estudiantes que obtuvieron el título* deberían acumular toda la población, como sucede en el comportamiento reflejado en la Figura 6.

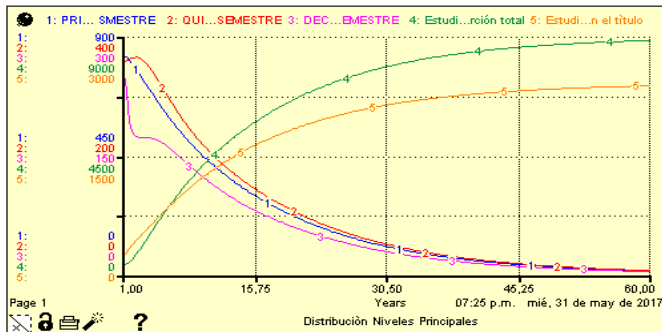


Figura 6: Gráfico de validación de Condiciones Extremas. Fuente: Los Autores (iThink).

Adicionalmente se evaluó la reproducción del comportamiento mediante la asignación del valor de cero a la variable *estudiantes que aprobaron 1 sem*. Al realizar este cambio se espera que el comportamiento de la población que ingresa al sistema sea exponencial creciente en los niveles de *primer semestre* y *estudiantes deserción total*, debido a que la acumulación de la población se verá en estos niveles, como se evidencia en el comportamiento de la Figura 7.

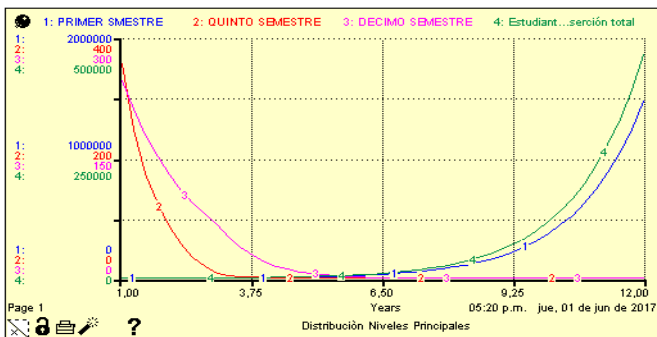


Figura 7: Gráfico de validación de Reproducción del Comportamiento. Fuente: Los Autores (iThink).

Finalmente, con base en la experiencia de uno de los autores quien labora en la oficina de registro y control académica de la Institución se identifica que los comportamientos de la estructura del sistema corresponden a los presentados en la operación real. En conjunto, con base en los resultados obtenidos el modelo construido es viable para evaluar el comportamiento del sistema y proponer políticas para intervenirlo.

V. EVALUACIÓN CRÍTICA DEL SISTEMA

Los siguientes son los comportamientos del sistema que se pudieron identificar en las simulaciones realizadas con el modelo.

Los hallazgos no buscan concluir o predecir el comportamiento del sistema a futuro, sino que permiten entender cómo se generan los índices de deserción universitaria y evaluar dos políticas para intervenir el sistema con el objetivo de disminuir los niveles de abandono.

En el horizonte de tiempo de 12 años es posible identificar el comportamiento de los estudiantes a medida que avanzan sus estudios. La cantidad de estudiantes que desertan es menor a la cantidad que continúan y culminan sus estudios (ver Figura 8).

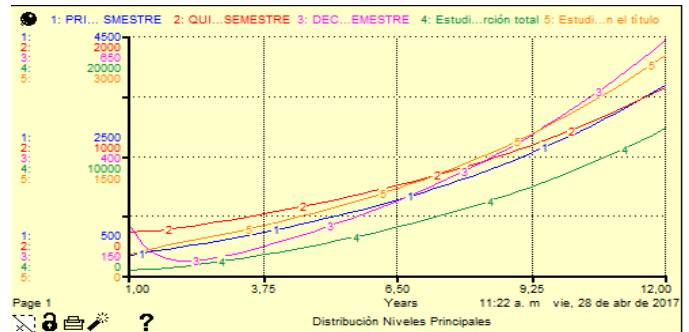


Figura 8: Cantidad de estudiantes: en primer semestre, de segundo a quinto semestre y de sexto a décimo semestre; desertores y graduados durante 12 años. Fuente: Los Autores (iThink).

Al momento de comparar las tasas de abandono de estudiantes sin llegar a ser desertores definitivos (es decir, abandonan por menos de 3 semestres), se identifica que en el primer semestre se encuentra el aumento de la tasa a un ritmo más acelerado (ver Figura 9).

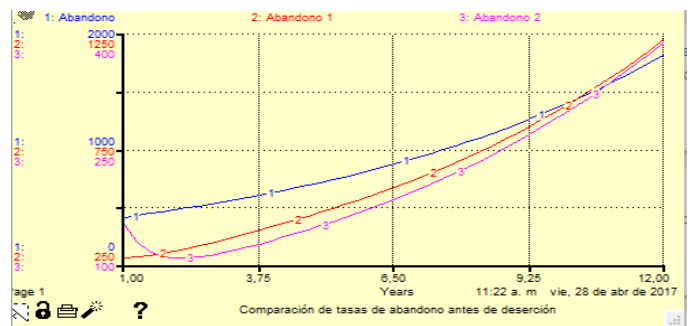


Figura 9: Comportamiento de abandono en primer semestre, de segundo a quinto semestre y de sexto a décimo semestre. Fuente: Los Autores (iThink).

También se encuentra que la tasa en décimo semestre decrece durante los primeros dos años para luego crecer de una manera uniforme, siendo esta la tasa más baja de abandono en el modelo (ver Figura 9). Para tasas de abandono definitivo, el fenómeno de deserción es más significativo en estudiantes entre segundo y quinto semestre (ver Figura 10).

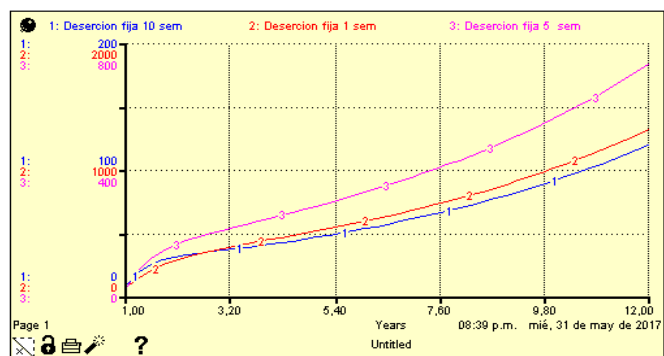


Figura 10: Comportamiento de abandono definitivo: en primer semestre, de segundo a quinto semestre y décimo semestre, en un periodo de 12 años. Fuente: Los Autores (iThink).

Es preocupante ver cómo el nivel de estudiantes desértore de definitivos se acumula aproximadamente seis veces más rápido que el de estudiantes graduados a lo largo de una simulación de once años (ver Tabla II).

TABLA II COMPORTAMIENTO DE ACUMULACIÓN DESERTORES: *ESTUDIANTES DESERCIÓN TOTAL Y ESTUDIANTES QUE OBTUVIERON EL TÍTULO*, EN UN PERIODO DE 11 AÑOS

Years	Estudiantes que obtuvieron el título	Estudiantes Deserción total
Initial	254,00	385,00
1	396,55	661,18
2	619,82	1.187,37
3	856,78	1.844,40
4	1.111,41	2.613,87
5	1.390,34	3.501,39
6	1.695,55	4.519,84
7	2.030,98	5.686,68
8	2.400,59	6.922,27
9	2.809,23	8.250,45
10	3.252,40	9.678,71
11	3.736,45	11.208,63

Fuente: Los Autores (iThink).

Para el año 11 la acumulación de crecimiento de obtiene por medio de la razón entre el número de *Estudiantes Deserción total* y *Estudiantes que obtuvieron el título*.

Políticas Sugeridas para Intervenir y Mejorar el Comportamiento del Sistema

Teniendo en cuenta un enfoque en el que se modifiquen en el modelo únicamente las variables que están bajo el control de las entidades interesadas en una disminución de las tasas de deserción en la educación superior, como lo son las instituciones educativas u organizaciones gubernamentales o privadas, que tienen la opción de prestar a los estudiantes ayudas en pro de la disminución de dichas tasas, se proponen las siguientes políticas de intervención del sistema:

- Política 1: aumento del porcentaje de estudiantes de primero a quinto semestre que recibe ayuda en sus dificultades para continuar estudiando (ver Tabla III).

TABLA III
PORCENTAJE DE ESTUDIANTES QUE ABANDONAN ESTUDIOS, PERO QUE RECIBEN AYUDAS PARA EVITAR SU DESERCIÓN

Política 1	En Primer Semestre		Entre Segundo y Quinto Semestre	
	Actual	Sugerido	Actual	Sugerido
Ayudas por parte de la institución	1%	20%	8%	20%
Ayudas por parte de terceros	18%	50%	36%	50%

Fuente: Los Autores.

El cambio refleja en la simulación un aumento significativo en los estudiantes que logran obtener su título profesional (ver Figura 11).

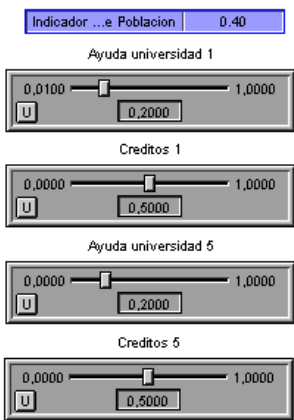
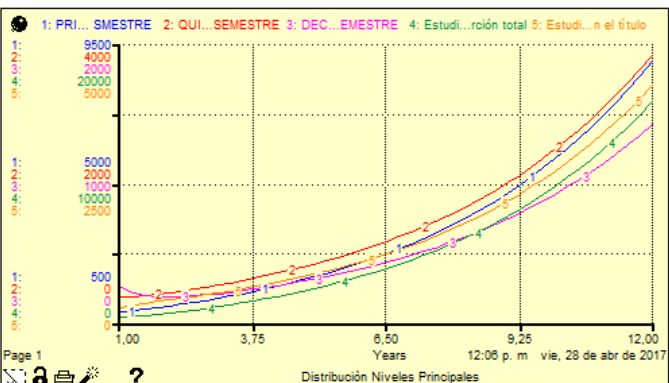


Figura 11: Resultados de la Política 1. Cantidad de estudiantes en primer semestre, de segundo a quinto semestre y de sexto a décimo semestre; desértore y graduados durante 12 años. Fuente: Los Autores (iThink).

Actualmente la proporción de la población estudiantil que deserta definitivamente corresponde al 0.52 (52%). Al aplicar la Política 1 la proporción de población estudiantil que deserta definitivamente disminuye hasta el 0.40 (40%).

- Política 2: disminución de la tasa de estudiantes que tienen dificultades para seguir estudiando y que deciden desertar definitivamente gracias al apoyo del área de bienestar universitario de la institución que los motiva a recuperarse del mal desempeño académico que tuvieron cuando ingresaron por primera vez a la educación superior. Esto implica que la institución diseñe programas para mantener conexión con el estudiante que abandona por primera vez. Se propone una disminución en dicha tasa de un 87% a un 50% para estudiantes que deciden desertar definitivamente entre primero y quinto semestre (*Estudiantes de primer semestre que no volvieron* y *Estudiantes de quinto semestre que no volvieron*).

Esta política de intervención refleja en la simulación una disminución de la proporción de la población estudiantil que deserta definitivamente a un 0.45 (45%) (ver Figura 12).

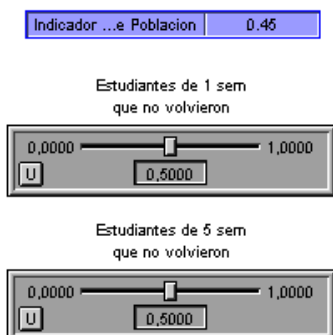
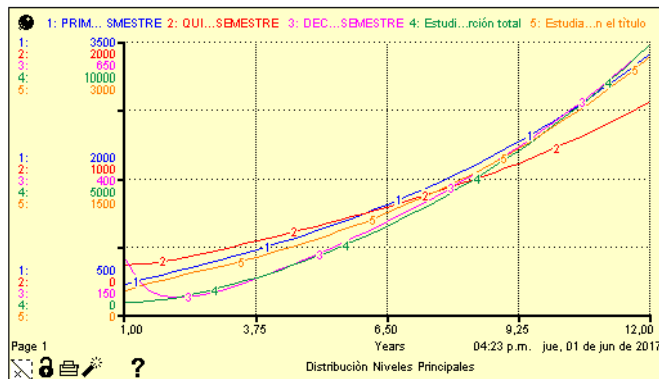


Figura 12: Resultados de la Política 2. Cantidad de estudiantes en primer semestre, de segundo a quinto semestre y de sexto a décimo semestre; desertores y graduados durante 12 años.
Fuente: Los Autores (iThink).

VI. CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto identifica y estudia, desde un punto de vista sistémico y haciendo uso de la metodología dinámica de sistemas, algunas causas que producen la deserción de los estudiantes universitarios en Colombia, resaltando que las decisiones que toman las entidades educativas, gubernamentales o privadas en relación a la educación, repercuten en gran medida al momento de un estudiante considerar dejar sus estudios. Esto se refleja en los modelos construidos, donde se muestra la interacción entre los estudiantes y las diferentes entidades durante su proceso educativo, y se evalúa cómo el sistema se comporta cuando la presencia de estas instituciones es más notoria y se deciden otorgar ayudas como becas, acompañamiento u otros incentivos que ayuden a motivar a los estudiantes a no desertar definitivamente de sus estudios.

Adicionalmente, se proponen dos políticas de intervención que pueden ser lideradas por instituciones educativas u organizaciones gubernamentales o privadas. Al estudiar el comportamiento del sistema, se puede notar la mejora significativa en los niveles de deserción. Considerando la naturaleza de las políticas, es posible concluir que las ayudas

por parte de las diferentes entidades involucradas en el sistema, logran cubrir las necesidades que pueden llevar a los estudiantes a desertar. Este hallazgo evidencia que estas entidades deben estar en un constante desarrollo de este tipo de estrategias para lograr un mayor cambio en los índices de deserción y que sean más los estudiantes que logran culminar sus estudios superiores y enriquezcan la fuerza laboral del país.

Por lo tanto, un factor clave que ayuda a que los estudiantes colombianos sigan estudiando es que dichas entidades se preocupen y estén en constante búsqueda de ayudas para personas dispuestas a estudiar a pesar de su situación económica y las dificultades académicas normales dentro de un proceso formativo. Esto permite que a largo plazo al país cuente con más profesionales que ayuden a su progreso económico y social.

Finalmente, la dinámica de sistemas es una herramienta que ayuda a conceptualizar los diferentes actores y relaciones de un sistema y permite realizar simulaciones para entender el comportamiento del mismo no únicamente desde una visión cualitativa, sino también cuantitativa. Durante este estudio se identifican los fenómenos presentes dentro de este sistema en una institución de educación superior colombiana. Esta herramienta también permite evaluar las diferentes políticas propuestas, para conocer los posibles efectos al intervenir el sistema. Esto permite no solo tener un respaldo para tomar la decisión de aplicar o no una campaña de apoyo estudiantil, sino que también reduce los riesgos de afectar al sistema de forma negativa. Los hallazgos encontrados son un referente no únicamente para la institución del caso de estudio sino para las demás instituciones de educación superior interesadas en mejorar

su gestión en relación con la retención de sus estudiantes.

Estudios Futuros

Adicional a los factores que se tuvieron en cuenta al momento de realizar la caracterización del sistema, es posible explorar otros factores que quedaron fuera de la frontera, como el ambiente familiar o la situación socioeconómica de la familia del estudiante, así como la calidad de la educación que recibe durante los años estudio en el colegio.

Existe un campo abierto para la exploración de esta problemática. Para incrementar la precisión de los resultados, también es posible considerar otras variables que afecten al sistema, como el estrato socioeconómico de los estudiantes, el nivel académico de los padres, condiciones de salud que pudieran afectar la continuidad de los estudios, el entorno del estudiante e incluso variables como el ambiente político y económico del país.

Todo esto permite que las políticas que puedan ser generadas tengan un enfoque más holístico e involucren a más actores del sistema que puedan aportar a la reducción de los niveles de deserción. Si se quiere lograr un estudio incluso más específico, se pueden estructurar por diferentes categorías relevantes, por ejemplo, observar los niveles de deserción en diferentes áreas de conocimiento o carreras profesionales de una institución. Este estudio abre las puertas de este campo e invita a seguir explorando alternativas para mejorar la educación en Colombia.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por permitir la realización de este estudio con estadísticas reales que permitieron generar hallazgos desde la dinámica de sistemas y que pueden ser referentes para otras instituciones educativas. Así mismo, agradecen a los estudiantes que voluntariamente participaron diligenciando la encuesta virtual realizada.

VII. REFERENCIAS

- [1] OLIVEROS, L. T. (2016). Estrategias para Evitar las Deserciones en las Universidades. El País.
- [2] JACKSON, M. C. (2003). Systems Thinking: Creative Holism for Managers. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- [3] PERALTA, C. D. (2008). Modelo Conceptual para la Deserción Estudiantil Universitaria Chilena. Científica Electrónica Library Online, Chile. URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07052008000200004
- [4] CARVAJAL, J. M. (2013). Sistema de Gestión del Conocimiento para la Definición de Estrategias que Eviten la

Deserción Escolar en los Colegios de Mocoa. URL: <http://pegasus.javeriana.edu.co/~PA121-01-GCEduMocoa/ESTADO%20DEL%20ARTE%20DESERCIÓN%20ESCOLAR.pdf>

[5] MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (2010). Encuesta Nacional De Deserción Escolar - ENDE. URL: http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-293664_archivo_pdf_resultados_ETC.pdf

[6] MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. (2009). Deserción Estudiantil en la Educación Superior Colombiana. Bogotá D.C.: Ministerio de Educación Nacional.

[7] MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. (2015). Estadísticas Deserción y Graduación 2015. URL: http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-357549_recurso_3.pdf

[8] MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. (2015). Guía para la Implementación de Modelo de Gestión de Permanencia y Graduación Estudiantil en Instituciones de Educación Superior. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.

[9] CENTRO DE ESTUDIOS SOBRE DESARROLLO ECONÓMICO CEDE. (2014, febrero 14). Sistema de Prevención y Análisis de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior. Facultad de Economía, Universidad de los Andes. URL: http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702_Informe_determinantes_desercion.pdf

[10] STERMAN, J.D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World (HAR/CDR Ed). McGraw-Hill.

ANEXO 1. ECUACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN DESARROLLADO EN ITHINK.

$\text{DECIMO_SEMESTRE}(t) = \text{DECIMO_SEMESTRE}(t - dt) + (\text{Estudiantes_no_desertores1} - \text{Graduados} - \text{Abandono_2}) * dt$ $\text{INIT DECIMO_SEMESTRE} = 248$
$\text{Estudiantes_no_desertores1} = (\text{QUINTO_SEMESTRE} * \text{Estudiantes_que_aprobaron_5_sem}) + \text{estudiantes_ayuda_10}$
$\text{Graduados} = \text{DECIMO_SEMESTRE} * \text{tasa_graduados}$
$\text{Abandono_2} = \text{DECIMO_SEMESTRE} * (\text{necesidad_de_trabajar_10} + \text{Promedio_de_notas_10})$
$\text{Estudiantes_Deserción_total}(t) = \text{Estudiantes_Deserción_total}(t - dt) + (\text{desercion_fija_1_sem} + \text{Desercion_fija_5_sem} + \text{Desercion_fija_10_sem}) * dt$ $\text{INIT Estudiantes_Deserción_total} = 385$
$\text{desercion_fija_1_sem} = \text{Estudiantes_que_abandonan_en_1} * \text{Estudiantes_de_1_sem_que_no_volvieron}$
$\text{Desercion_fija_5_sem} = \text{estudiantes_que_abandonan_en_5} * \text{Estudiantes_de_5_sem_que_no_volvieron}$
$\text{Desercion_fija_10_sem} = \text{Estudiantes_que_abandonan_en_10} * \text{Estudiantes_de_10_sem_que_no_volvieron}$
$\text{Estudiantes_que_abandonan_en_1}(t) = \text{Estudiantes_que_abandonan_en_1}(t - dt) + (\text{Abandono} - \text{estudiantes_ayuda_1} - \text{desercion_fija_1_sem}) * dt$ $\text{INIT Estudiantes_que_abandonan_en_1} = 87$
$\text{Abandono} = \text{PRIMER_SMESTRE} * (\text{Promedio_de_notas_1} + \text{necesidad_de_trabajar})$
$\text{estudiantes_ayuda_1} = \text{Estudiantes_que_abandonan_en_1} * (\text{Ayuda_universidad_1} + \text{Creditos})$
$\text{desercion_fija_1_sem} = \text{Estudiantes_que_abandonan_en_1} * \text{Estudiantes_de_1_sem_que_no_volvieron}$
$\text{Estudiantes_que_abandonan_en_10}(t) = \text{Estudiantes_que_abandonan_en_10}(t - dt) + (\text{Abandono_2} - \text{estudiantes_ayuda_10} - \text{Desercion_fija_10_sem}) * dt$ $\text{INIT Estudiantes_que_abandonan_en_10} = 30$
$\text{Abandono_2} = \text{DECIMO_SEMESTRE} * (\text{necesidad_de_trabajar_10} + \text{Promedio_de_notas_10})$
$\text{estudiantes_ayuda_10} = \text{Estudiantes_que_abandonan_en_10} * (\text{Ayuda_universidad_10} + \text{Creditos_10})$
$\text{Desercion_fija_10_sem} = \text{Estudiantes_que_abandonan_en_10} * \text{Estudiantes_de_10_sem_que_no_volvieron}$
$\text{estudiantes_que_abandonan_en_5}(t) = \text{estudiantes_que_abandonan_en_5}(t - dt) + (\text{Abandono_1} - \text{estudiantes_ayuda_5} - \text{Desercion_fija_5_sem}) * dt$
$\text{Abandono_1} = \text{QUINTO_SEMESTRE} * (\text{necesidad_de_trabajar_5} + \text{Promedio_de_notas_5})$
$\text{estudiantes_ayuda_5} = \text{estudiantes_que_abandonan_en_5} * (\text{ayuda_universidad_5} + \text{Creditos_5})$
$\text{Desercion_fija_5_sem} = \text{estudiantes_que_abandonan_en_5} * \text{Estudiantes_de_5_sem_que_no_volvieron}$
$\text{Estudiantes_que_obtuvieron_el_titulo}(t) = \text{Estudiantes_que_obtuvieron_el_titulo}(t - dt) + (\text{Graduados}) * dt$ $\text{INIT Estudiantes_que_obtuvieron_el_titulo} = 254$
$\text{Graduados} = \text{DECIMO_SEMESTRE} * \text{tasa_graduados}$
$\text{PRIMER_SMESTRE}(t) = \text{PRIMER_SMESTRE}(t - dt) + (\text{Ingrso_estudiantes} - \text{Estuiantes_no_desertores} - \text{Abandono}) * dt$
$\text{Ingrso_estudiantes} = \text{PRIMER_SMESTRE} + \text{estudiantes_ayuda_1} + (\text{PRIMER_SMESTRE} * \text{Ingreso_Estudiantes_nuevos})$
$\text{Estuiantes_no_desertores} = (\text{PRIMER_SMESTRE} * \text{Estudiantes_que_aprobaron_1_sem}) + \text{estudiantes_ayuda_5}$
$\text{Abandono} = \text{PRIMER_SMESTRE} * (\text{Promedio_de_notas_1} + \text{necesidad_de_trabajar})$

$\text{QUINTO_SEMESTRE}(t) = \text{QUINTO_SEMESTRE}(t - dt) + (\text{Estuantes_no_desertores} - \text{Estudiantes_no_desertores1} - \text{Abandono_1}) * dt$
INIT QUINTO_SEMESTRE = 359
$\text{Estuantes_no_desertores} = (\text{PRIMER_SMESTRE} * \text{Estudiantes_que_aprobaron_1_sem}) + \text{estudiantes_ayuda_5}$
$\text{Estudiantes_no_desertores1} = (\text{QUINTO_SEMESTRE} * \text{Estudiantes_que_aprobaron_5_sem}) + \text{estudiantes_ayuda_10}$
$\text{Abandono_1} = \text{QUINTO_SEMESTRE} * (\text{necesidad_de_trabajar_5} + \text{Promedio_de_notas_5})$
Ayuda_universidad_1 = 0.2
Ayuda_universidad_10 = 0.135
ayuda_universidad_5 = 0.2
Creditos = 0.5
Creditos_10 = 0.409
Creditos_5 = 0.5
Estudiantes_de_10_sem_que_no_volvieron = 0.302
Estudiantes_de_1_sem_que_no_volvieron = 0.865
Estudiantes_de_5_sem_que_no_volvieron = 0.875
Estudiantes_que_aprobaron_1_sem = 0.538
Estudiantes_que_aprobaron_5_sem = 0.445
$\text{Indicador} = (\text{Estudiantes_Deserción_total}) / (\text{PRIMER_SMESTRE} + \text{QUINTO_SEMESTRE} + \text{DECIMO_SEMESTRE} + \text{Estudiantes_que_abandonan_en_1} + \text{Estudiantes_que_abandonan_en_10} + \text{estudiantes_que_abandonan_en_5} + \text{Estudiantes_Deserción_total} + \text{Estudiantes_que_obtuvieron_el_titulo})$
Ingreso_Estudiantes_nuevos = 0.191
necesidad_de_trabajar = 0.034
necesidad_de_trabajar_10 = 0.454
necesidad_de_trabajar_5 = 0.317
Promedio_de_notas_1 = 0.46
Promedio_de_notas_10 = 0.15
Promedio_de_notas_5 = 0.46

Modelo dinámico para el análisis de estrategias destinadas al control de la inseguridad pública

Wilson Alexander Pinzón Rueda, Jairo Vargas Caleño.
Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”
jairocale@yahoo.com, wapinzon@udistrital.edu.co

Abstract— This article studies the problem of public insecurity in Colombia through a dynamic model that analyzes the judicial system and penitentiary as the main agent to maintain safe environments throughout the national territory for citizens with the support of police and others Institutions.

It begins with a brief description of the panorama of insecurity at the Latin American and national level as well as judicial, penitentiary and insecurity data reported at national level by various institutions. The proposed Forrester model is presented and described together with the results obtained through the simulation process with the help of the ithink software.

Palabras Clave — Inseguridad, delito, Análisis de Riesgos, Arquetipos.

I. INTRODUCCION

En este artículo se aborda el problema de la inseguridad pública en Colombia a través de un modelo dinámico que analiza el sistema judicial y penitenciario como agente principal para mantener ambientes seguros en el todo el territorio nacional para los ciudadanos con el apoyo de la policía y otras instituciones.

Se inicia con una breve descripción del panorama de la inseguridad a nivel latinoamericano y nacional, se analizan datos judiciales, penitenciarios y de inseguridad reportados a nivel nacional por diversas instituciones para la formulación del modelo. A continuación se presenta y describe el modelo de Forrester propuesto junto con los resultados obtenidos a través del proceso de simulación con ayuda del software ithink.

II. SEGURIDAD E INSEGURIDAD

Según la Organización de los Estados Americanos y la Comisión Interamericana de Derechos Humanos [1] el significado de seguridad ciudadana varía de acuerdo al contexto en el que se analice; esto se debe a que generalmente se tratan en contextos de política pública para referirse a las políticas dirigidas a impedir todas las actividades lesivas contra las personas y la propiedad, independientemente del lugar, la causa o la víctima de dichas actividades [2]. La concepción más generalizada de acuerdo con [3], describe la seguridad como un estado de bienestar que perciben y disfrutan las personas, esto dado que estar o sentirse seguro hace referencia a la ausencia de riesgos, amenazas, peligros o delitos. La seguridad

ciudadana se refiere al derecho que tienen todos los ciudadanos a vivir libres de cualquier forma de violencia y delincuencia

Esta concepción, permite entonces diferenciar distintos tipos de seguridad, por ejemplo: seguridad alimentaria, física, ciudadana, pública, jurídica, industrial, laboral, ambiental, electrónica, entre otras. Por lo tanto la seguridad se concibe como una condición necesaria para el funcionamiento de la sociedad. [3] sostiene que la seguridad es uno de los principales criterios para mantener la calidad de vida de los individuos.

La delincuencia está asociada a las personas que cometen delitos y violan las leyes; la inseguridad se puede definir como la cantidad o proporción de delitos cometidos en un lugar o en un período de tiempo determinado. Por otra parte, la violencia se define como cualquier comportamiento deliberado que puede provocar daños físicos o psíquicos, sin embargo, es importante aclarar que más allá de la agresión física, la violencia puede ser emocional mediante ofensas o amenazas, de tal manera que puede generar secuelas físicas y/o psicológicas.

Así, los términos violencia, seguridad, delincuencia y prevención de la violencia se emplean con frecuencia conjuntamente, aunque desde el punto de vista conceptual son todos diferentes; no toda violencia constituye delito y no todo delito implica violencia. De esta manera, algunos autores afirman que es posible definir variados tipos de seguridad tantos como actividades realiza el ser humano y que todas ellas poseen dos dimensiones: una individual y otra social. La dimensión individual hace referencia a las acciones que cada persona realiza por su cuenta para evitar riesgos que pongan en peligro su salud, vida y bienes. Por otro lado, la dimensión social se refiere al conjunto de leyes, organismos, servicios e instalaciones que cubren y protegen la integridad de las personas, medio ambiente, bienes e infraestructuras.

Desde el concepto de seguridad, la inseguridad puede entenderse como la ausencia de seguridad y el interés de estudiar esta problemática esta en lograr establecer marcos de referencia que favorezcan la planificación e implantación de medidas e intervenciones que minimicen los efectos de la inseguridad.

[4] indica que el concepto de seguridad es muy complejo dado

que de acuerdo a la postura que se tenga se pueden obtener visiones muy reduccionistas, que enfatizan únicamente la represión de actos delictivos, o visiones más amplias, que pueden llegar a mezclar conceptos e ideas sobre calidad de vida, dignidad humana, economía, política, etc.

Desde una visión social¹ se considera que la inseguridad es una sensación de amenaza sistemática que experimenta cualquier individuo, tanto en espacios públicos o privados y que se ve materializada por el número de delitos que se cometen. Los delitos pueden ser entendidos como aquellos comportamientos que ya sea por propia voluntad o por imprudencia resultan contrarios a lo establecido por la ley implicando entonces la violación de las normas vigentes y la aplicación de un castigo o pena [4].

El IIDH [5] describe la evolución del concepto de seguridad humana, entendida como: “proteger la esencia vital de todas las vidas humanas de una forma que se realice las libertades humanas y la plena realización del ser humano”. Entonces seguridad humana implica: proteger las libertades fundamentales, libertades que constituyen la esencia de la vida; proteger al ser humano contra las situaciones y las amenazas críticas y omnipresentes; utilizar procesos que se basan en la fortaleza y las aspiraciones del ser humano; la creación de sistemas políticos, sociales, medioambientales, económicos, militares y culturales que en conjunto brinden al ser humano las base para la supervivencia, los medios de vida y la dignidad” (5, p. 16).

También establece siete categorías de seguridad:

- Económica: asociada a la pobreza y el desempleo.
- Alimentaria: unida a la escasez de alimentos.
- Sanitaria y salubre: respecto al acceso a cuidados básicos de salud.
- Ambiental: cambio ambiental, agotamiento de recursos, desastres naturales y la contaminación.
- Personal: asociada a varios ámbito e integridad personal, incluyen diversas modalidades como las amenazas del Estado (tortura física), amenazas de otros Estados (guerra), amenazas de otros grupos de la población (tensión étnica), amenazas de individuos o pandillas contra otros individuos o pandillas (delincuencia, violencia callejera), amenazas dirigidas contra las mujeres (violación, violenciadoméstica), amenazas dirigidas contra los niños y niñas sobre la base de su vulnerabilidad y dependencia (maltrato de niños y niñas), y amenazas dirigidas contra la propia persona (suicidio, uso de estupefacientes)

- Comunitaria: involucra la participación en un grupo, una familia, una comunidad, una organización, un grupo racial o étnico que pueda brindar una identidad cultural y un conjunto de valores que den seguridad a la persona. Se refleja en forma de tensiones interétnicas, religiosas y otras similares.
- Política: involucra represión política y la violación de los derechos humanos.

[3] indica que la seguridad ciudadana hay que entenderla como un estado de equilibrio social que permite a los individuos disfrutar de las libertades públicas y la capacidad de asumir ciertos niveles de conflictividad a partir del consenso y del desarrollo de políticas específicas de prevención, persuasión, coerción y rehabilitación, del delincuente y de la víctima.

Es así que, actualmente, la noción de seguridad se asocia a los principios de cuidado de la propiedad privada y la integridad personal de los sujetos; por tanto, se presume que la seguridad de los ciudadanos se hace posible a partir de la vigilancia y el resguardo físico con énfasis en las “medidas de seguridad” para evitar delitos.

Así se apuntaría hacia la contribución en la calidad de vida de los ciudadanos a un nivel estatal y su definición de políticas explícitas para su promoción. Sin embargo, [5] establece la necesidad de comparar los resultados obtenidos al poner en marcha dichas políticas y metodologías a través de indicadores usados para valorar la seguridad de acuerdo a dimensiones establecidas. La figura 1, muestra los indicadores establecidos para cada dimensión.

En esta medida, al hablar de los delitos que afectan la seguridad ciudadana es importante profundizar en cuáles de ellos afectan la seguridad con mayor grado. De acuerdo con el informe del Banco Internacional de Desarrollo (BID) del año 2014 los países de América Latina y el Caribe presentan tasas de victimización entre el 18% y 42%, nivel de percepción de inseguridad del 55% y tasas de homicidios entre 20 y 28.5 homicidios por cada 100.000 habitantes mientras el promedio mundial es de tan solo 6.9 homicidios por cada 100.000 habitantes. Estos niveles de violencia y delincuencia durante estas tres últimas décadas han afectado de manera negativa el capital social y humano ocasionando alteraciones importantes en algunos sectores como la economía².

¹ <http://www.ccb.org.co/Transformar-Bogota/Seguridad/Observatorio-de-Seguridad/Balance-de-la-seguridad-Bogota-Cundinamarca>

² <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-seguridad/12574.pdf>

Dimensión seguridad humana	Indicador
Económica	Tasa de desempleo. Porcentaje de población con necesidades básicas insatisfechas (NBI). Porcentaje de analfabetismo.
Salud	Porcentaje de población desafiada a la seguridad social.
Personal	Tasa de homicidios por 100 000 habitantes.
Ambiental	Porcentaje de viviendas en riesgo ambiental. Porcentaje de viviendas afectadas por desastre natural.
Alimentaria	Porcentaje de la población en miseria por NBI.
Comunitaria	Número de personas desplazadas por municipio/localidad receptor y expulsor.
Política	Número de violaciones al derecho internacional humanitario.

Figura 1. Indicadores de seguridad humana [1].

Según [1] los costos del delito y la violencia pueden ascender a más del 10% del PIB en América Latina y el Caribe, en América Central entre el 3,6% del PIB en Costa Rica y el 10,8% del PIB en El Salvador. Aun en países como Uruguay, que tiene bajas tasas de homicidios y victimización (5,9 por cada 100.000 habitantes y el 16%¹², respectivamente), el BID ha estimado estos costos en el 3,1% del PIB¹³. El solo costo de los años de vida ajustados en función de la discapacidad que se pierden por causa de la violencia equivale al 1,2% del PIB de América Latina y el Caribe.

Los encuestados manifiestan sentirse menos seguros que en años anteriores a tal grado que el 83% de ellos opinan que

la delincuencia ha aumentado con respecto al año anterior. Es así que esta situación ha despertado el interés de diversos grupos de colectivos como universidades, ONG, gobiernos, etc., quienes trabajan arduamente con el fin de encontrar y explicar sus causas, elucidar sus efectos y evaluar la eficacia de nuevas políticas, estrategias o planes que puedan hacer frente a esta problemática.

Como resultado de múltiples programas auspiciados por BID desde el año 2010, se han logrado identificar algunas causas de este flagelo las cuales consideran factores que operan en niveles

generales, es decir, en niveles comunitarios o sociales más que en el plano individual o relacional a través de relaciones directas entre variables como por ejemplo niveles de desempleo e índices de delincuencia.

De igual forma [6] ha establecido grados de correlación mediante el análisis de datos recolectados de un amplio número de países entre variables como disparidad de ingresos y delincuencia e incluso la tasa de homicidios. De esta forma, ha sido posible afirmar que las tasas de homicidio y robo están en relación directa con la desigualdad de ingresos y en relación inversa con el crecimiento económico o que existe una relación inversa entre el salario percibido por los trabajadores no calificados y el delito violento o no.

Los logros anteriormente mencionados sobre el origen del delito han permitido establecer vínculos causales en lugar de correlaciones simples mediante el uso de diferentes estrategias como las mostradas en la figura 2.

Ámbitos específicos de prevención	Capacidades institucionales
Intervenciones sociales	Aumentar la eficacia y eficiencia del Estado para prevenir la violencia y la delincuencia reforzando las capacidades de formulación de políticas y promoviendo el uso de evidencia empírica
Prevención situacional	Reducir las oportunidades para desarrollar conductas violentas y delictivas atribuibles a factores ambientales
Sistema Policial	Detectar circunstancias propicias a la actividad delictiva y prevenir su ocurrencia
Sistema judicial	Detectar, procesar y sentenciar a los infractores
Sistema penitenciario	Aumentar la eficacia de la rehabilitación, a fin de prevenir la reincidencia tras la reinserción social

Figura 2. Ámbitos de intervención del BID en materia de seguridad ciudadana [1].

III. CARACTERÍSTICAS DEL COMPORTAMIENTOS DELICTIVO Y CAPTURAS EN COLOMBIA

La seguridad ciudadana en Colombia se ha convertido en una de las principales ocupaciones del debate político y ciudadano sobre

³ Intervenciones sociales para impedir que los jóvenes pasen de conductas de bajo riesgo a otras de alto riesgo, que son determinantes directos de las conductas violentas y delictivas. Las intervenciones sociales también se extienden

a la prevención de la violencia doméstica, lo que incluye evitar la transmisión intergeneracional de patrones violentos.

los mecanismos para enfrentarla, de ahí el surgimiento de los tipos de seguridad. Sin embargo, es importante clarificar que la seguridad requiere un trabajo multidisciplinario. Puesto que esta definición se basa en las descripciones legales con marcos normativos cambiantes⁴ y priorizaciones político-administrativas cambiantes cuya formulación no ha sido seria⁵, coherente⁶ ni basada en una base empírica⁷, solo hasta finales de 2016 se evidencian estas características.

Para Colombia entre los años de 2011 a 2015 las capturas totales reportadas por la Policía Nacional sumaron 1.300.420; Los dos principales delitos reportados corresponden al tráfico de estupefacientes con el 32%, hurto con 289.030 capturas, las cuales son el 22%, todas asociadas con el artículo 239 del Código Penal⁸.

Conducta. Acumulada 2011 a 2015	Capturas policiales	%
ARTÍCULO 376. Tráfico de estupefacientes	414.237	32
ARTÍCULO 239. Hurto personas	198.282	15
ARTÍCULO 111. Lesiones personales	100.482	8
ARTÍCULO 365. tráfico armas de fuego	83.114	6
ARTÍCULO 229. Violencia intrafamiliar	54.793	4
Total	1.300.420	100

Figura 3. Conductas delictivas. Fuente: Policía Nacional. Cálculos Autores

Los presupuestos nacionales públicos usan sus recursos principalmente en: pago de la deuda externa, 33%, educación, 15%, seguridad y defensa 14%, todos los demás sectores juntos 39%⁹ basado en los datos públicos entre 2000 a 2015¹⁰.

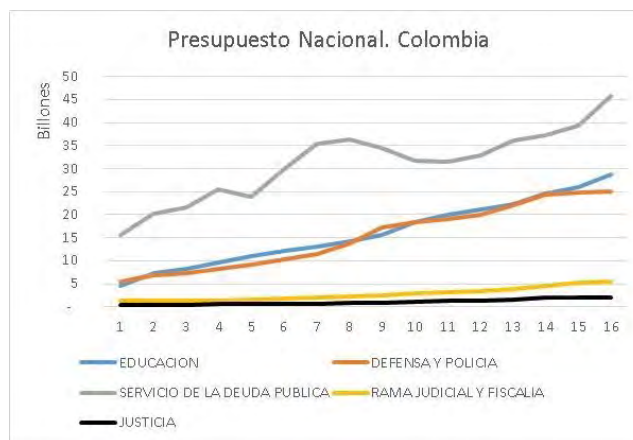


Figura 4. Presupuesto nacional. Fuente: Policía Nacional. Cálculos Autores

El total nacional de capturados tiene un comportamiento cíclico dentro del año considerando las semanas calendario, por tanto es relevante indagar si estas capturas dependen de la fecha en la que se producen y para ello se usó el coeficiente de correlación. La correlación como índice entre -1 y 1 indica que tanto se parecen dos conjuntos de datos; siendo el número (+1) indicativo de un comportamiento de total similitud entre los dos conjuntos y, el coeficiente 0 de independencia en el parecido, simultaneidad o comportamiento entre este par de conjunto de datos; el coeficiente de (-1) es un indicador de contrariedad en el comportamiento de las variables. Así, si una variable aumenta (disminuye) la otra disminuye (aumenta).

De esta forma, las correlaciones entre años de las capturas totales en Colombia por semana indican que el comportamiento entre semanas del año es muy parecido, en al menos un 88% entre cualquier par de años. De otro lado el índice del coeficiente de determinación, que es el cuadrado del de correlación indica cuanto se explican el par de conjuntos de datos. Aquí se halla que al menos cada par de años se explica en un 71% con cualquier otro año. Por lo cual puede pensarse que la captura es homogénea tanto en cantidad entre años como entre su comportamiento entre semanas y se repite cada año.

⁴ http://www.cej.org.co/files/DOCS_SPA_BALANCE_10_Y.pdf

⁵ http://caracol.com.co/programa/2017/07/05/6am_hoy_por_hoy/14992591_05_553804.html

⁶ <http://www.minjusticia.gov.co/Noticias/TabId/157/ArtMID/1271/ArticleID/2677/La-cadena-perpetua-y-la-pena-de-muerte-no-son-la-soluci243n-Pensemos-en-una-justicia-social-y-una-pol237tica-criminal-coherente-Ministro-de-Justicia.aspx>

⁷ <http://www.minjusticia.gov.co/Noticias/TabId/157/ArtMID/1271/ArticleID/2634/Luego-de-dos-a%C3%B1os-de-trabajo-el-Observatorio-de-Pol%C3%ADtica-Criminal-del-Ministerio-de-Justicia-es-una-realidad.aspx>

⁸ http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0600_2000.html

⁹ www.pte.gov.co

¹⁰ Ver anexo 2



Figura 5. Serie de capturas en Colombia. Fuente: Policía Nacional. Cálculos Autores

Correlación	2011	2012	2013	2014	2015
2011					
2012	0,88				
2013	0,84	0,92			
2014	0,86	0,89	0,84		
2015	0,84	0,93	0,87	0,85	

Determinación	2011	2012	2013	2014	2015
2011					
2012	0,78				
2013	0,71	0,85			
2014	0,75	0,80	0,71		
2015	0,71	0,87	0,75	0,73	

Figura 6. Resultados análisis de correlación: capturas – semanas. Fuente: autores.

De otro lado la cantidad de personas en cada una de las entidades del estado que compone la fuerza pública presentan un crecimiento inter-anual de 3,3%¹¹.

De acuerdo con [7] el análisis de la velocidad de recuperación de las víctimas y la densidad de las redes sociales permiten describir la dinámica que facilita la propagación del miedo al crimen, siendo este último un factor multifactorial y complejo. Dicha propagación se ve muy influenciada por las características de las redes sociales de una comunidad dado que cada individuo actúa como medio conductor del miedo generando ondas de choque que refuerzan momentos de incrementos tanto en la percepción como en la victimización.

¹¹ Ver anexos

TABLA I
CAPTURAS. [Policía Nacional]

Con-ducta	Captura-dos
Artículo 239. Hurto personas	63.895
Artículo 376. Tráfico, fabricación o porte de estupefacientes	65.629
Artículo 239. Hurto entidades comerciales	24.020
Artículo 111. Lesiones personales	22.627
Artículo 229. Violencia intrafamiliar	6.926
Artículo 365. Fabricación, tráfico, porte o tenencia de armas de fuego, accesorios, partes o municiones	10.084
Artículo 265. Daño en bien ajeno	6.474
Artículo 429. Violencia contra servidor público	4.608
Artículo 103. Homicidio	4.437
Artículo 448. Fuga de presos	1.013
Artículo 287. Falsedad material en documento público	3.938
Artículo 233. Inasistencia alimentaria.	4.011
Todas las capturas	246.543
Subtotal de este listado	230.825
Porcentaje de capturas incluidas en este listado	94

Lo que es descrito como un alto nivel de percepción de inseguridad en una localidad o barrio está asociado con los eventos sucedidos y la percepción de los mismos y con el énfasis mediático¹². Así, como también con circunstancias sociales asociadas a: desigualdad, pobreza, indigencia, falta de servicios públicos, basuras, pandillas, lugares de expedición y consumo de drogas y/o alcohol, entre otras.

Según [8] los factores mencionados anteriormente potencian las condiciones para que diversas modalidades delictivas aparezcan ocasionando la estigmatización de dichas áreas y comunidades que con altos grados de deterioro social, económico y cultural comparten estructuras comunes que promueven el crecimiento de las actividades delictivas y criminales. En forma general, el crimen parece estar relacionado con la distribución física de las personas y cómo éstas perciben y utilizan la información sobre el medio que los rodea, concibiendo una estrecha relación entre las características individuales y la interpretación circunstanciales de su entorno.

De acuerdo con los datos presentados por [9], los delitos que más se presentaron durante los años 2014 y 2015 en la ciudad de Bogotá corresponden a actos de violencia personal y hurtos a perso-

¹² http://www.fts.uner.edu.ar/catedras03/metinvest_tecn_cuanti/invest_cate_dra/Investigacion_2009.pdf

nas. La Tabla II, muestra las diferentes modalidades de delitos que se presentaron durante dos años consecutivos en la ciudad de Bogotá¹³.

TABLA II
DELITOS REPORTADOS EN BOGOTÁ D.C. [9]

DELITO	Casos 2015	%	Casos 2014	%
Homicidio Común 1	1.353	2%	1.355	1%
Lesiones en accidentes de tránsito	6.978	9%	2.860	3%
Muertes en Accidentes de Tránsito 1	551	1%	621	1%
Violencia Interpersonal 1	28.193	35%	45.979	49%
Hurto a Personas 2	27.506	35%	27.753	29%
Hurto a Establecimientos 2	3.623	5%	6.288	7%
Hurto a Residencias 2	5.905	7%	4.792	5%
Hurto de Vehículos 2	5.564	7%	5.069	5%
Piratería Terrestre 2	14	0%	31	0%
Hurto a Bancos 2	27	0%	41	0%
Total	79.714		94.789	

Según la Policía Nacional dentro de los años 2011 a 2016 12 de las 254 conductas con capturas, el 4,7% de ellas incluyen el 94% de las capturas:

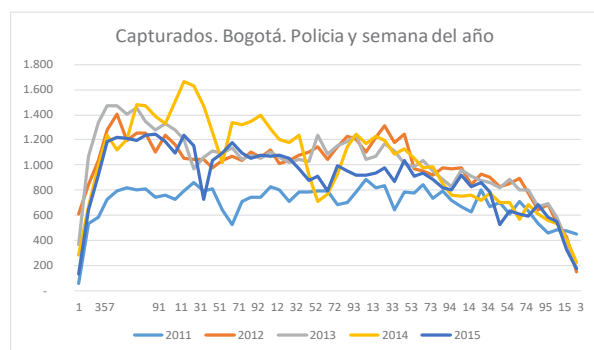


Figura 7. Capturas en Bogotá. Fuente: Policía Nacional. Cálculos Autores

Una descripción del número de capturas en Bogotá se muestra en la figura 6, usando los datos de las capturas semanales se obtiene que los coeficientes de correlación son de al menos 0,71 por lo que los coeficientes de determinación son de 0,50, con lo que se afirma que el comportamiento de capturas entre semanas del año se explica en al menos un 50% con el comportamiento en capturas de cualquier otro año dentro del periodo 2011 a 2015 en Bogotá

Correlación	2011	2012	2013	2014
2011				
2012	0,77			
2013	0,71	0,93		
2014	0,67	0,79	0,80	
2015	0,77	0,88	0,90	0,88

Determinación	2011	2012	2013	2014
2011				
2012	0,59			
2013	0,51	0,87		
2014	0,44	0,63	0,64	
2015	0,60	0,77	0,81	0,78

Figura 8. Resultados análisis de correlación: capturas – semanas. Fuente autores.

Las encuestas de victimización evidencian que el hurto de celulares y otros objetos personales son los elementos que con mayor frecuencia están en la mira de los delincuentes debido a la alta demanda que estos tienen en los mercados negros los cuales parecen tener cada vez mayor fuerza a pesar de los diversos controles que el estado en conjunto con sus instituciones ponen en marcha para aliviar esta problemática.

TABLA III
ELEMENTOS HURTADOS REPORTADOS EN BOGOTÁ D.C. [9]

Elemento	2014-1	2014-2	2015-1	2015-2	2016-1
Celular	0,34	0,35	0,39	0,43	0,40
Objetos personales (Billetera, etc.)	0,29	0,27	0,28	0,24	0,27
Dinero	0,28	0,29	0,26	0,16	0,26
Otros (pc, electrodomésticos, partes carro, etc.)	0,09	0,08	0,07	0,17	0,07

Los factores que contribuyen en la percepción de la inseguridad son: la presencia de grupos de personas (indigentes, vendedores, grupos de jóvenes, trabajadoras sexuales, entre otros) y a las características del área como son las económicas y espacio público.

TABLA IV
FACTORES REFORZADORES DE LA INSEGURIDAD EN BOGOTÁ [9]

Causa aumento de la inseguridad	2016-1	2016-2
Presencia de grupos	41%	40%
Condiciones socio económicas	25%	23%
Condiciones de espacio público	10%	23%
Falta de presencia institucional	8%	5%
Venta y consumo de drogas	3%	2%
Información medios de comunicación	1%	1%
Otra	11%	6%

La persona encuestada ante la pregunta de ¿cuál esperaba que fueran las acciones de control de la inseguridad que debería llevar a cabo el estado?, se refirieron en su mayoría a aspectos que lograran castigar de forma más contundente a los delincuentes, así como a la disminución de la corrupción de los diferentes organismos y entidades que tienen asignadas estas funciones como son la policía, los fiscales, jueces, etc.

TABLA V
ACCIONES ACEPTADAS POR LA CIUDADANÍA PARA DISMINUIR LA INSEGURIDAD EN BOGOTÁ [9]

Acciones de mejora	2015-1	2015-2	2016-1
Mejorar la justicia (más penas, más cárceles)	41%	31%	33%
Acabar con la corrupción	22%	29%	24%
Aumenta inversión social	11%	9%	7%
Aumentar pie de fuerza	8%	12%	11%
Capacitar a policías	7%	8%	7%
Mejorar mobiliario urbano	4%	1%	4%
Realizar campañas de prevención	4%	4%	3%
Otra	3%	5%	7%

IV. REPRESENTACIÓN DINÁMICA DE LA INSEGURIDAD

De acuerdo con [10] los sistemas sociales presentan ciertas características que hacen necesario diferenciar la forma en la cual estos deben ser abordados con respecto a otros tipos de sistemas como son los sistemas naturales, biológicos, artificiales, etc. El estudio de estos últimos se basa en el análisis de observaciones para gen-

erar o confirmar hipótesis o teorías que explican la ocurrencia del fenómeno soportado en las evidencias existentes; las teorías brindan una explicación válida que nos permite comprender la ocurrencia del fenómeno a partir del descubrimiento de sus causas. Los sistemas sociales, por su parte se logran abordar mejor a través del pensamiento operacional que no es otra cosa que abordar el sistema a partir de su operación, es decir, entender cómo funciona el sistema lo que implica identificar y comprender su desempeño como producto de las decisiones continuas de los diversos actores que lo conforman.

La inseguridad entendida como un sistema social [11] involucra el diseño de artefactos (estrategias, organizaciones, mecanismos, etc.) y la ejecución deliberada de acciones contrarias a la ley que atentan contra los derechos e integridad de las personas. Dichos artefactos son productos de la ingeniería la cual está comprometida con el diseño del mundo y tiene como objetivo transformar la realidad. Desde este punto de vista la inseguridad y la criminalidad no pueden ser explicadas con leyes, hipótesis o teorías universales dado que son invenciones humanas y obedecen a complejas relaciones, decisiones y propósitos de los actores que intervienen (ciudadanos, delincuentes, instituciones, etc.). De esta forma la inseguridad obedece más a las condiciones geográficas, espaciales, culturales, económicas, políticas y temporales donde se desarrolla. Estas características sugieren entonces que los artefactos para enfrentar esta problemática respondan a cuestionamientos como: ¿cuál y como debe ser la política?, ¿cómo y que hay que hacer?, ¿cuándo, dónde y quien debe hacer?, etc. La ingeniería entonces pareciera ser la mejor opción para desarrollar los artefactos que puedan prevenir y disminuir los efectos de la inseguridad dado que cuenta con los métodos y las técnicas para explorar, identificar, establecer, implementar, monitorear, evaluar y corregir soluciones con propósitos, metas, objetivos, restricciones y recursos disponibles.

De acuerdo con [12] la Dinámica de Sistemas brinda una metodología para estudiar y resolver problemas concretos. Emplea modelos y herramientas computacionales que hacen posible recrear una situación y evaluar su respuesta ante estímulos y variaciones de los mismos. [13] explica como la modelación dinámica facilita la comprensión de fenómenos complejos como el crimen, la inseguridad, la pobreza, etc., así como el desarrollo de iniciativas sistémicas para mejorar la convivencia y la seguridad.

En [14] se analiza una situación problemática que involucra la implementación de esquemas de seguridad física a través de la intervención total de sistemas y se propone un método para identificar opciones de mejora haciendo uso de diversos paradigmas y metáforas. Como resultado de este análisis se clasificó la situación problemática como un sistema complejo, con participantes pluralistas, características propias de los sistemas de actividad humana o sistemas sociales y se presenta un modelo causal que muestra las relaciones de influencia entre las variables que hacen parte de dicha situación.

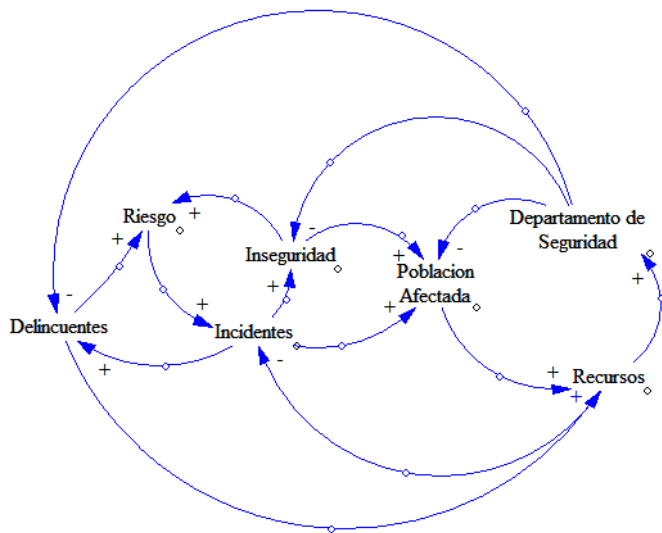


Figura 9. Modelo de influencias para el control de la inseguridad [14]

El modelo de la figura 9 es una representación de un sistema que tiene como objetivo cuantificar el nivel de inseguridad en un área en función del riesgo para asignar los recursos necesarios que permitan minimizar la población afectada por eventos delictivos. Esto se logra a partir de la identificación de círculos de influencia que determinan un comportamiento o patrón de influencia que generalmente es repetitivo y que mejora o empeora el comportamiento del sistema, el cual por su naturaleza de sistema de actividad humana, corresponde a un sistema complejo debido a que en él coexisten varios bucles de realimentación positiva y negativa y su comportamiento final está en función de aquellos que sean más dominantes [12].

Sin embargo de acuerdo con [12] obtener un modelo que represente una situación particular de la realidad involucra desarrollar varias tareas como son: definición del problema, conceptualización del sistema, formalización del modelo, establecimiento del comportamiento del sistema, evaluación del modelo, explotación del modelo. Según los principios del pensamiento operacional entender cómo funciona el sistema es esencial y esto se logra a partir de la información que se tenga disponible.

La información recolectada en la actividad investigativa o que surge como resultado de la misma, generalmente viene representada como datos, los cuales, según [15], corresponden a agrupaciones de cualquier número de observaciones relacionadas y que sirven para hacer conjeturas acerca de las causas y por tanto de los probables efectos de ciertas características en situaciones dadas.

Dichas observaciones, para que sean útiles, requieren de organización para que adquieran un significado en un determinado contexto reduciendo la incertidumbre o aumentando el conocimiento para identificar patrones, tendencias o relaciones y llegar a conclu-

siones lógicas que faciliten la descripción, explicación o comprensión de un evento, fenómeno, etc., o toma de decisiones. Cuando los datos se encuentran organizados de forma compacta y sencilla es posible obtener información confiable de tal forma que es indispensable que la información provenga de datos que estén basados en suposiciones e interpretaciones correctas.

[16] afirma que los datos ayudan a describir y entender los sistemas del mundo real y que son hechos o conceptos conocidos o supuestos expresados generalmente de forma numérica. Estos datos, reflejan lo que sucedió en el pasado, lo que está sucediendo y lo más importante son útiles para tomar decisiones sobre el futuro. [17] sostiene que los datos pueden provenir de fuentes primarias o secundarias. Los datos primarios son aquellos que los investigadores obtienen directamente de la realidad y se recopilan durante la actividad investigativa a través de experimentos, observaciones, pruebas de laboratorio, entrevistas, discusiones en grupos, entrevistas u otros instrumentos específicos. Los datos secundarios, por otra parte, son informaciones que ya han sido producidas por otras personas o instituciones. [17] sugiere la necesidad de establecer “unidades de análisis” entendidas estas como los casos o elementos de estudio. Dichas unidades deben siempre estar alineadas con los objetivos del investigador y dependen del planteamiento del problema y del alcance del estudio. Sin embargo, como requisito preliminar para definir las unidades de análisis se encuentra la delimitación de la población que contiene las unidades de análisis.

De esta forma el control de la inseguridad requiere de un proceso de administración de información de criminalidad como el que pone en práctica la Policía Nacional de Colombia (Sistema de Información Estadístico Delincuencial, Contravencional y Operativo - SIEDCO), para documentar todos los delitos que se cometan en el territorio colombiano. La información registrada y procesada hace referencia a los delitos de impacto social, discriminados en los que afectan la seguridad pública, la ciudadana y la seguridad vial, respectivamente. Asimismo, se hace el registro de contravenciones y de la actividad operativa realizada por los funcionarios de policía en el territorio colombiano. Este proceso es continuo y también tiene en cuenta todos aquellos servicios de control, prevención, disuasión e investigación que a fin de cuentas son función de esta institución [18]. La información obtenida es agrupada para tener insumos en la toma de decisiones durante los procesos de planeación y seguimiento del servicio de policía orientado hacia la reducción y control de la criminalidad [19].

De acuerdo con [20], el tratamiento de la información (como la que se ha mostrado en anteriores tablas), permite establecer modelos haciendo uso de diversas técnicas estadísticas para poner en evidencia el comportamiento general de la situación problemática representada por las diferentes variables de trabajo. Este proceso en primera instancia entrega una imagen de la situación problemática a través de gráficas, diagramas y métricas que dan cuenta de máximos, mínimos, proporciones, porcentajes, tendencias, patrones que las variables presentan y que recrean el comportamiento

y permiten iniciar el proceso de comprensión. Este análisis basado en la observación gráfica de la información nos permite entonces conocer que es lo que está pasando, en ese periodo de tiempo y en ese lugar, dejando de relieve algunas relaciones e influencias entre las variables para establecer un modelo causal de la situación.

El modelo de Forrester presentado en [20] está basado en el arquetipo de límite al crecimiento y se usa para analizar el nivel de inseguridad de una institución de educación sujeto a variables aleatorias tales como el riesgo. Con el modelo propuesto se busca poner a prueba la eficacia de políticas para lograr una disminución de la tasa de generación de delitos y la prevención de eventos a partir de la asignación de recursos.

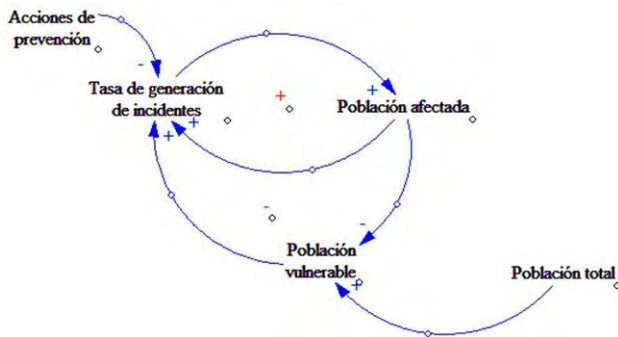


Figura 10. Modelos de influencias y Forrester para la inseguridad [20].

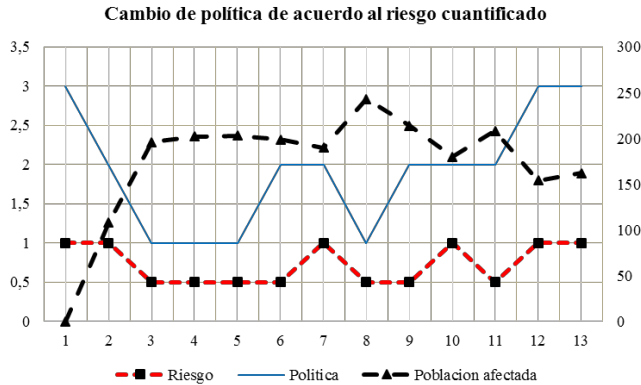
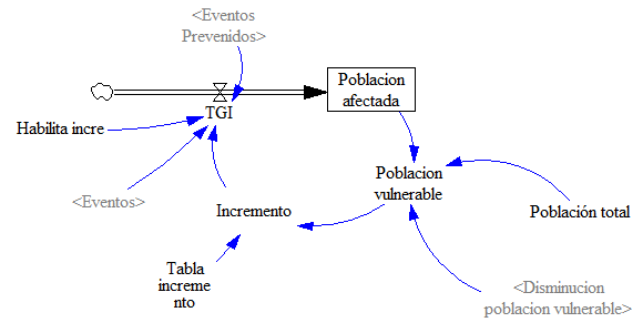


Figura 11. Respuesta del modelo. [20]

La gráfica de la población afectada muestra como durante los intervalos de crecimiento como por ejemplo (0 – 2) y (12 – 13) se activa la política 3, dado que es la que logra prevenir mayor número de eventos. Por el contrario los intervalos de tiempo con población afectada baja están gobernadas por la política 1; la de menos recursos. Es importante anotar que al cambiar el objetivo, la respuesta del modelo cambia también.

4.1. MODELO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SERVICIO DE JUSTICIA



Para el modelaje del servicio de justicia se propone el estudio del sistema más simple que describa la operación de la política criminal basado en información disponible, la cual, incluye algunos aspectos tratados en el código penal, mas no así otras normas de convivencia ciudadana que fueron conocidos como contravenciones y hoy son conocidos como el nuevo código de policía. Los componentes estudiados son: dinámica poblacional colombiana, capturas por la policía nacional, encarcelamiento y objetivo del sistema. Para su estudio se inicia presentando la forma de cálculo del incremento de las tasas de crecimientos para las series de datos temporales.

Fórmula de cálculo de las tasas de crecimiento entre periodos para las variables

La expresión usada para calcular la tasa de crecimiento de las conductas incluidas y del tiempo promedio de condena es

$$r = \left[\frac{Q_f}{Q_i} \right]^{(1/(f-i))} - 1 \quad E1$$

Donde:

R = tasa de crecimiento entre periodos

Qf = cantidad en el periodo final, f

Qi = cantidad en el periodo inicial, i

Con la ecuación E1 se puede identificar la tasa de crecimiento de cada una de las variables entre diferentes cantidades periodos, ya que la calidad y cantidad de información disponible en cada una de las fuentes es diferente.

Evolución de la población de Colombia

Colombia es un estado nacional que aproximadamente cada 10 años realiza un censo nacional de población. De allí se obtiene la cifra de la población para a partir de estos datos extrapolar el incremento poblacional dentro de cada territorio según las características y movimientos sociales.

La población colombiana varía cada año y cada instante a veloci-

dades diferentes dados estos movimientos. Sin embargo los datos de los censos se utilizarán para calcular una tendencia en la cantidad de población dentro del territorio nacional. El modelo básico usa dos variables: la variable de la tasa de incremento poblacional para cada mes calendario y se calcula multiplicando la tasa de crecimiento del período respectivo por la cantidad de pobladores iniciales del territorio nacional. El valor inicial para el año 2000 es de 40 millones de habitantes como parámetro, llegando a más de 48 millones de personas al año.

Capturas por la policía nacional

La Policía Nacional de Colombia ejecuta diferentes actividades¹⁴ asociadas a la seguridad y defensa dentro del estado colombiano, entre ellas, la captura o detención de las personas dentro del inicio de un proceso judicial, bien sea como presunto culpable o por orden administrativa de las autoridades competentes. Una vez efectuada la detención se procederá, según los recursos disponibles, en detención o a liberar a las personas en las siguientes 72 horas como regla general u otro tiempo según las condiciones de proceso.

Dos variables se utilizarán para representar el comportamiento de capturas: una variable nivel, que es el número de capturados dentro de un mes específico y la tasa de capturabilidad. Dado que se observa un comportamiento cíclico en la actividad de captura por parte la Policía Nacional no se usará este valor para ser estimado. Más bien se utilizará un indicador derivado: la capturabilidad.

El concepto de capturabilidad se entenderá como el porcentaje de personas que son capturadas mensualmente por la Policía Nacional respecto a la cantidad de personas que pueblan el territorio nacional. Dado que esta tasa de capturabilidad cambia, se encontraba la tasa de cambio mensual para ella y se usará como parte de los parámetros de simulación. Aproximadamente se capturan 403 personas por cada millón de habitantes cada mes dentro del territorio nacional para el año 2010; esta cifra se incrementa hasta 451 personas por cada millón de habitantes para el año 2015. Por lo anterior también se calcula la tasa de variación de esta tasa.

Encarcelamiento y des encarcelamiento

Una vez capturada una persona por la Policía Nacional esta procede en la medida de lo posible a su liberación o a su reclusión en un centro carcelario ó penitenciario según corresponda. Con la información disponible se estima que el centro carcelario cumple la función de la prestación del servicio de detención preventiva, es decir, retienen a las personas mientras se procede en el servicio justicia; el centro penitenciario detiene punitivamente a las personas como parte del proceso judicial; en este modelo no entrarán en detalle para los dos tipos de población.

De otro lado, las personas liberadas después del proceso de captu-

ra que no entran al sistema carcelario pero que si fueron capturadas se registran a través de la variable tasa llamada liberados y la cantidad se acumula en la variable nivel llamada ex capturados; de esta forma se contabiliza la cantidad de personas que han sido capturadas pero que no han entrado a reclusorios como prevención, ni como condenadas. Para este propósito cabe recordar que para el año 2010 la tasa de encarcelabilidad era del 11.1%, esto es de cada 100 personas que eran capturadas 11 se llevaban a un centro de reclusión; el restante 88.9% constituía la tasa de liberados. Del 11.1% de la tasa de encarcelabilidad se pasa al 20.2% para el año 2015, afectando directamente la tasa de liberados hasta que llega a 79.8%

De otro lado una vez las personas se encuentran en la cárcel algún día salen por algún método. Todos estos métodos se resumen en la tasa de excarcelabilidad la cual, nuevamente incluye a la población sindicada y a la población condenada. Cabe notar que esta tasa cambia en el tiempo, y una vez han salido de la cárcel se cuentan en el nivel de los excarcelados.

La tasa excarcelación está directamente vinculada al tiempo de permanencia que un recluso debe pasar dentro del sistema carcelario bien sea como sindicado o como condenado. En general para los condenados está presente la regla que los favorece para tener un menor tiempo dentro de la reclusión, algunos de ellos se califican con buena conducta y por lo tanto no cumplen la totalidad de las penas sino tres quintas partes de esta dentro del establecimiento carcelario, así por lo tanto, es relevante conocer el tiempo promedio que permanecen las personas dentro del sistema para compararlo con la evolución de la penalización de las conductas.

Objetivo del sistema

Las penas privativas de la libertad en Colombia tienen como objetivo el construir una mejor sociedad, sin embargo, tanto su calidad como tiempo de duración cambia. Por lo anterior se identifica la evolución de la penalización de conductas en Colombia.

Revisando el código penal se identifica que para el año 2000 se caracterizan 177 conductas criminalizadas las cuales en promedio fueron penalizadas con 39.38 meses de condena en caso de asumir que la persona es responsable de esta conducta y a la cual se le asigna esta pena como valor promedio, ello no quiere decir que no existan personas con condenas superiores a este valor. Simplemente quiere decir que en promedio las personas que han sido condenadas lo hacen con un marco normativo en el cual las penas en promedio tienen 40 meses. Para el año 2015 se identificaron 422 conductas como tipificadas, con un promedio de tiempo de condena, es decir como medida privativa de la libertad de 63 meses. Según la siguiente figura:

¹⁴ Constitución Política Colombia 1991. En <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-7/capitulo-7/articulo-218>

Año	Meses de condena	Conductas y variantes tipificadas
2000	39,38	177,00
2015	63,00	422,00
Crecimiento en el periodo (%)	160,00	238,42
Tasa de crecimiento interanual (%)	3,41	0,06
Tasa de crecimiento intermensual (%)	0,31	0,01

Figura 12. Tasas de crecimiento para condenas. PONAL.

A partir de los tiempos de pena privativa de libertad de la cantidad de conductas y variantes tipificadas se encuentra el crecimiento durante estos 15 años y a partir de estos valores se obtiene la tasa de crecimiento interanual y la tasa de crecimiento intermensual.

La tasa de crecimiento interanual es una estimación de la velocidad de crecimiento que cruza para cada año con los valores referidos y que se asume aproximadamente constante durante este intervalo. Así por ejemplo los meses con privativa de la libertad pasarán de finales del año 2000 a finales del 2001 a un valor de 39.38 por $(1 + \text{tasa de crecimiento interanual})$; para el siguiente año se usará esta nueva base por el mismo factor $(1 + \text{tasa de crecimiento interanual})$, y así sucesivamente. Esta tasa de crecimiento resume el comportamiento social agregado total e incluyen los efectos de las fuerzas a favor y en contra del incremento del uso de las penas. Se incluye los efectos de conexión en una sola tasa ya que el incluir un mayor número de variables implicaría hacer ejercicios más extensos del aquí escrito.

Vale anotar que el cumplimiento de las penas para cada conducta o delito considerado depende de todo el proceso y es diferente en cada caso, sin embargo, existe el principio de favorabilidad que, en caso de disponer de una mejor conducta por parte del condenado, hace que el tiempo total de las penas no sean cumplidas en todo el tiempo propuesto, entre ellas destaca los beneficios por buena conducta y otros que pueden basar la excarcelación de las personas al cumplir tres quintas partes de la pena. También es de recordar que los sindicados podrían estar un tiempo en la cárcel sin ser sentenciados y por lo tanto se disminuye el tiempo promedio de permanencia para la población en general. Por lo anterior, el tiempo promedio de pena puede evolucionar como función de los efectos sociales en materia criminal.

Punibilidad y parámetros del sistema

La población colombiana ha evolucionado, así que la tasa de capturas ha cambiado y la tasa de encarcelabilidad ha cambiado. Por punibilidad se presume las actividades de castigo que un ente ejerce sobre la población, estas incluyen, la capturabilidad, la encarcelabilidad y la excarcelabilidad descritas más adelante, estos se calculan a partir de los datos descritos en el Anexo 5 Histórico judicial y reclusiones.

A partir de la dinámica poblacional y de la punibilidad se calcula las tasas de crecimiento de cada una de estas variables usando la anterior formulación. Sin embargo, para el modelo dinámico a proponer se usan indicadores derivados de la anterior tabla. Por poblacionabilidad se entiende la tasa de crecimiento de la población. Por capturabilidad se asume la tasa porcentual de ser capturado por la policía distinta si es sindicado de un delito o es condenado por alguna razón. Por encarcelabilidad se tiene la tasa porcentual de personas que detenidas por la policía son ingresadas a un centro penitenciario y por excarcelabilidad se tiene la tasa porcentual de personas que salen libres de la cárcel. Los valores de los Anexos 6 y 7 corresponden a los parámetros que se van a utilizar en el modelo propuesto.

Modelo propuesto

El modelo se expresa mediante el siguiente sistema de ecuaciones, cuyos parámetros se han tomado de los cálculos de los pasos anteriores.

1. $\text{Capturados}(t) = \text{Capturados}(t - dt) + (\text{Capturabilidad} - \text{Liberados} - \text{Encarcelados}) * dt$ INIT Capturados = 0
2. INFLOWS:
3. $\text{Capturabilidad} = \text{Poblacion_Colombiana} * 0.0004004 * (1.00106^{\text{time}})$
4. OUTFLOWS:
5. $\text{Liberados} = \text{Capturados} - \text{Encarcelados}$
6. $\text{Encarcelados} = \text{Capturados} * (0.11 * ((1 + \text{Proporcion_de_encarcelamiento})^{\text{time}}))$
7. $\text{Carcel}(t) = \text{Carcel}(t - dt) + (\text{Encarcelados} - \text{Excarcelados}) * dt$ INIT Carcel = 52000
8. INFLOWS:
9. $\text{Encarcelados} = \text{Capturados} * (0.11 * ((1 + \text{Proporcion_de_encarcelamiento})^{\text{time}}))$
10. OUTFLOWS:
11. $\text{Excarcelados} = \text{Carcel} / \text{Nivel_de_penas}$
12. $\text{Excapturados}(t) = \text{Excapturados}(t - dt) + (\text{Liberados}) * dt$ INIT Excapturados = 0
13. INFLOWS:

- 14. Liberados = Capturados-Encarcelados
- 15. $Exencarcelados(t) = Exencarcelados(t - dt) + (Excarcelados) * dt$ INIT Exencarcelados = 0
- 16. INFLOWS:
- 17. $Excarcelados = Carcel/Nivel_de_penas$
- 18. $Nivel_de_penas(t) = Nivel_de_penas(t - dt)INIT$ Nivel_de_penas = 22
- 19. $Poblacion_Colombiana(t) = Poblacion_Colombiana(t - dt) + (Crecimiento_Poblacional) * dt$ INIT Poblacion_Colombiana = 40000000
- 20. INFLOWS:
- 21. $Crecimiento_Poblacional = Poblacion_Colombiana * 0.00094$
- 22. $Proporcion_de_enarcelamiento(t) = Proporcion_de_enarcelamiento(t - dt)INIT$ Proporcion_de_enarcelamiento = 0.005

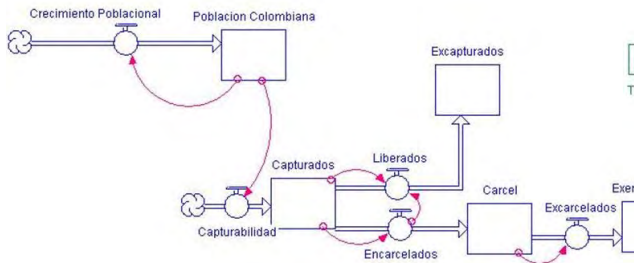


Figura 13. Modelo de Forrester propuesto. Autores

Simulación y validación del modelo

Al observar y comparar los datos del Anexo 8 Resultados del modelo, se tiene que los datos de los registros y del modelo presentan un ajuste del 91% para el número promedio de personas en la cárcel y del 77% para las capturas. Para lo anterior se toma el valor de dos variables de respuesta, el número de encarcelados y el tiempo promedio de penas; los datos de capturas se parecen en 83% y se explican en 59% de los registrados, así mismo los encarcelados se parecen en 91% y se explican en 83% de los datos con los parámetros calculados.

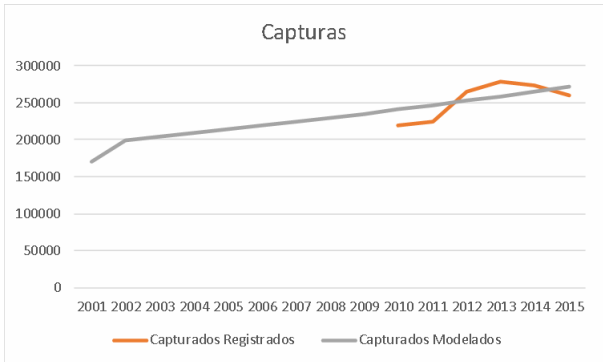


Figura 14. Simulación - Capturas. Autores

Cabe notar que el acumulado de personas que han cruzado por la captura y detención de policía es de más de 2,8 millones de personas y de más de 562.000 condenados, así los cambios de política podrían simular con estos datos. En el mismo sentido al comparar los datos

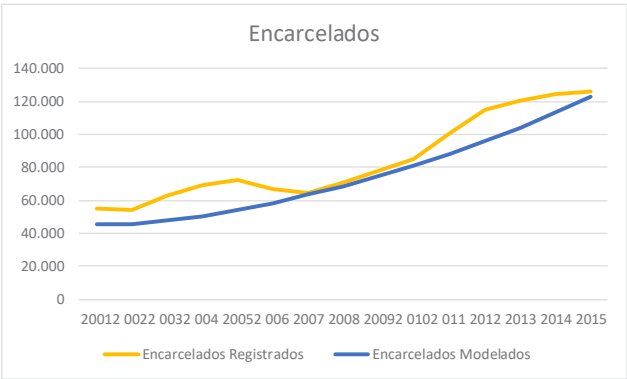


Figura 15. Simulación - Encarcelados. Autores

Cambio en la política

Este modelo usa los datos de la formulación de política pública en materia de fijación de penas y de él se encuentra un valor similar, por lo tanto, este modelo podría contrastar el efecto de la continuidad de la política de aumento de penas y de tipos punitivos en la población carcelaria y en el aumento de personas que pasan por las cárceles colombianas. Sin embargo, esta medida responde a un trámite legislativo que tomara algún tiempo. Sin embargo, la ciudadanía prefiere medidas más duras y contundentes como aumentar el uso de la medida preventiva de prisión para tener más “seguridad”, esto llevaría a los resultados de la siguiente tabla e ilustración donde se indica el incremento en la tasa de encarcelamiento.

Porcentaje de encarcelamiento	En Carcelados
0,0025	86.427
0,0050	123.080
0,0075	212.627
0,0100	333.308
0,0125	470.140
0,0150	506.000

Figura 16. Cambio de política – Encarcelamientos. Autores.

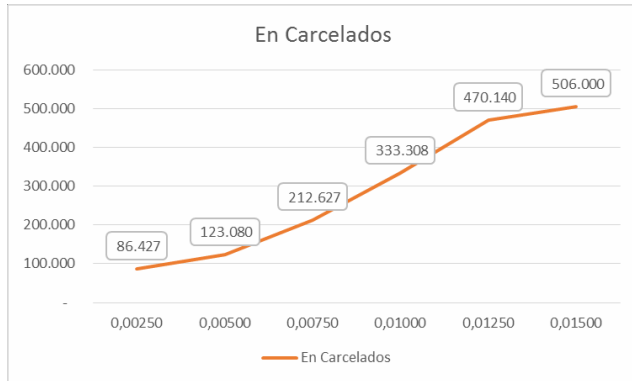


Figura 17. Cambio de política – Encarcelamientos. Autores.

Las figuras 16 y 17 muestran un comportamiento que crece continuamente de 123.000 presos a 506.000. En el caso de cambiar el endurecimiento del uso de la pena privativa de la libertad, bien sea endureciendo las penas, los criterios o las sentencias de los jueces llevaría a este país a tener en la cárcel a 1 de cada 100 habitantes, incrementando la población en las “universidades de delito”

V. CONCLUSIONES

- El incremento de penas y tipos penales aumenta la punición de los ciudadanos.
- La tasa de crecimiento de entradas aumenta mientras disminuyen las salidas basado en los cambios del código penal.
- El modelo puede usarse como base para el estudio de delitos particulares que afectan la seguridad ciudadana.
- El incremento en el endurecimiento de los procesos judiciales triplicaría la población en la cárcel aumentando el doble la tasa de encarcelamiento.
- Este trabajo no es posible sin el apoyo del Ministerio de Justicia, DANE, INPEC, Policía, Fiscalía y Rama Judicial usando información parcial e incompleta.

VI. REFERENCIAS

- [1] Respuesta del Banco Internacional de Desarrollo a los principales desafíos de seguridad ciudadana 1998 – 2012. Oficina de evaluación y supervisión, OVE. Washington D.C., 2014.
- [2] Prevención del delito y la violencia en América latina y el Caribe: Evidencias de las intervenciones del BID.

Oficina de evaluación y supervisión, OVE. Washington D.C., 2010.

- [3] Norza Céspedes Eryvn, López Guaje Walther Alfonso & Peñalosa-Otero María Ximena. (2011). Exégesis de los delitos en Colombia, ISSN 1794-3108. Revista Criminalidad, Policía Nacional de Colombia, Volumen 54, número 1, enero-junio 2012, pp. 17-54, Bogotá, D. C., Colombia.
- [4] Kessler Gabriel. (2009). El sentimiento de Inseguridad. Buenos Aires. Editorial Siglo 21.
- [5] IIDH (2011).Inventario de iniciativas relacionadas con seguridad humana en América Latina. Instituto Interamericano de Derechos Humanos. Recuperado el 16 de febrero de 2014: http://www.iidh.ed.cr/multic/UserFiles/Biblioteca/IIDH/10_2011/c7699a71-8133-41c8-a8a0-f054158293a5.pdf
- [6] Freeman, Richard B. (1999). The Economics of Crime. Handbook of Labor Economics, Elsevier Science, 3: 3529- 3571.
- [7] Téllez, W. (2015a). Explorando la percepción de la delincuencia como principal problema de América Latina. Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales, 11 (2): 195-208.
- [8] Téllez Acosta Wilmer José, Explorando la percepción de la delincuencia como principal problema en América Latina, Revista internacional de investigación en ciencias sociales, Vol. 11, No. 2., 2015.
- [9] Encuesta de Percepción y Victimización en Bogotá, segundo semestre de 2015, Cámara de Comercio de Bogotá, Dirección de Seguridad. Consultado en mayo 2017.
- [10] Olaya Camilo, Más ingeniería y menos ciencia por favor, XI Congreso Latino Americano de Sistemas, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, 2013.
- [11] Olaya Camilo, La irrelevancia del naturalismo criminológico: una invitación a la ingeniería.
- [12] Aracil, Javier, Gordillo, Francisco. (1997). Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial S.A., Madrid.
- [13] Olaya Camilo, Rodríguez M., Luz Stella, Modelos dinámicos del crimen, Revista Investigación Criminológica, Vol. II, No. 2, Bogotá D.C., 2011.
- [14] Vargas Jairo, Pinzón Wilson, TSI – Total System Intervention – Aplicada al análisis de esquemas de seguridad física, XI Congreso Latino Americano de

Sistemas, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, 2013.

- [15] Levin, Richard I. Estadística para administradores, Bogotá D.C., Ed. Prentice Hall, 1981.
- [16] Gallagher, Charles A., Watson, Hugh J. Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Ed. Mac Graw Hill, 1982.
- [17] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill, 2003.
- [18] Buitrago, J. R. & Norza, E. Registros de la criminalidad en Colombia y actividad operativa de la Policía Nacional durante el año 2015. Revista Criminalidad, 58 (2): 9-20., 2016.
- [19] Observatorio del delito de la Policía Nacional de Colombia, consultado en mayo 30 de 2017, disponible en: <https://www.policia.gov.co/observatoriodeldelito>
- [20] Vargas C., Jairo, Pinzón R., Wilson, Propuesta metodológica para la implementación de esquemas de seguridad física en una institución de educación superior de Bogotá incluyendo factores de variabilidad, Bogotá, 2016.

Jairo Vargas Caleño, Ingeniero en Control, Magister en Ingeniería Industrial. Ha trabajado como Docente Universitario e Ingeniero de Proyectos en el Sector Industrial. En la parte académica trabaja actualmente en el área de Dinámica de Sistemas aplicada a modelos de Control de Procesos, modelamiento de problemas sociales y herramientas pedagógicas destinadas a la gestión de proyectos, control de procesos y Automatización Industrial.

VII. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMO

PA: población afectada PT: población total

PV: población vulnerable

TGI: tasa de generación de incidentes AP: acciones de prevención

VIII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el interés, colaboración y trabajo de todas aquellas personas que apoyan la actividad investigativa.

IX. CURRÍCULUM

Wilson Alexander Pinzón Rueda, Magister en Ingeniería Industrial. Ha trabajado en los sectores industrial, comercial, justicia, energía y telecomunicaciones. Se desempeña como Docente de Planta de la Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Ha participado en proyectos de investigación en áreas como: Dinámica de Sistemas, Métodos Cuantitativos, Gestión Organizacional y del Conocimiento, entre otros.

ANEXOS

1. HISTORICO CONDUCTAS DELICTIVAS EN COLOMBIA

CONDUCTA	2011	2012	2013	2014	2015	Total general
ARTÍCULO 239. HURTO PERSONAS	10.053	13.115	13.997	14.112	12.618	63.895
ARTÍCULO 376. TRÁFICO, FABRICACIÓN O PORTE DE ESTUPEFACIENTES	8.973	14.587	16.454	15.282	10.333	65.629
ARTÍCULO 239. HURTO ENTIDADES COMERCIALES	3.723	5.333	4.571	5.223	5.170	24.020
ARTÍCULO 111. LESIONES PERSONALES	3.788	5.259	3.946	4.731	4.903	22.627
ARTÍCULO 229. VIOLENCIA INTRAFAMILIAR	686	1.240	1.377	1.641	1.982	6.926
ARTÍCULO 365. FABRICACIÓN, TRÁFICO, PORTE O TENENCIA DE ARMAS DE FUEGO,ACCESORIOS, PARTES O MUNICIONES	1.861	2.106	2.316	1.954	1.847	10.084
ARTÍCULO 265. DAÑO EN BIEN AJENO	717	1.214	1.661	1.487	1.395	6.474
ARTÍCULO 429. VIOLENCIA CONTRA SERVIDOR PÚBLICO	379	721	1.158	994	1.356	4.608
ARTÍCULO 103. HOMICIDIO	734	1.047	1.012	851	793	4.437
ARTÍCULO 448. FUGA DE PRESOS	34	57	62	127	733	1.013
ARTÍCULO 287. FALSEDAD MATERIAL EN DOCUMENTO PÚBLICO	616	862	978	813	669	3.938
ARTÍCULO 233. INASISTENCIA ALIMENTARIA.	1.009	1.305	771	491	435	4.011
Todas las capturas	37.268	53.186	54.250	54.165	47.674	246.543
Subtotal de este listado	34.410	49.259	50.884	50.965	45.307	230.825
Cantidad de Conductas con registro para el año este año	177	180	176	165	155	254
Porcentaje de capturas incluidas en este listado	92	93	94	94	95	94
Porcentaje de conductas incluidas	14	14	14	15	16	10

Presupuesto Nacional . www.pte.gov.co, cálculos propios

2. PRESUPUESTO NACIONAL

AÑO	EDUCACION	DEFENSA Y POLICIA	SERVICIO DE LA DEUDA PUBLICA	TOTAL
2000	4.643.401.385.309	5.541.818.654.996	15.517.187.202.511	41.721.709.624.243
2001	7.399.657.809.332	6.773.522.621.898	20.322.547.619.589	54.690.376.646.337
2002	8.261.532.090.589	7.373.344.454.674	21.672.049.991.913	56.984.255.900.994
2003	9.694.164.042.791	8.333.613.201.618	25.419.375.162.042	63.403.956.387.816
2004	11.105.386.020.959	9.145.570.040.928	23.852.918.202.487	69.842.919.475.566
2005	12.244.438.590.844	10.272.157.746.868	29.961.070.875.509	83.768.720.294.934
2006	13.094.871.065.950	11.476.735.916.127	35.396.321.988.986	92.233.803.385.171
2007	14.154.199.182.292	13.760.749.143.925	36.393.698.108.588	103.621.229.837.127
2008	15.584.178.838.267	17.308.888.971.453	34.498.841.916.581	110.976.869.150.887
2009	18.267.874.521.575	18.395.254.898.446	31.671.667.894.942	120.150.154.856.164
2010	19.872.409.673.063	19.046.217.101.501	31.485.414.033.468	120.680.947.554.605
2011	21.241.935.942.155	20.040.635.582.117	32.784.650.572.239	129.040.691.505.325
2012	22.323.346.255.817	22.010.368.175.656	36.149.339.302.154	142.575.934.665.056
2013	24.513.985.042.380	24.336.871.094.190	37.245.595.280.526	158.275.109.657.639
2014	26.078.744.564.103	24.763.176.816.010	39.299.639.216.923	170.459.607.203.816
2015	28.713.949.844.669	25.097.938.078.311	45.797.136.688.252	184.573.332.803.506
2016	18.277.146.582.308	14.349.348.317.718	29.577.684.756.714	107.349.599.992.921
Total general	275.471.221.452.403	258.026.210.816.435	527.045.138.813.423	1.810.349.218.942.110

Presupuesto Nacional . www.ptc.gov.co, cálculos propios

3. PRESUPUESTO NACIONAL - PORCENTAJES

Año	% en educación	% en defensa	% en servicio de la deuda	% en todos los demás sectores
2000	11	13	37	38
2001	14	12	37	37
2002	14	13	38	35
2003	15	13	40	31
2004	16	13	34	37
2005	15	12	36	37
2006	14	12	38	35
2007	14	13	35	38
2008	14	16	31	39
2009	15	15	26	43
2010	16	16	26	42
2011	16	16	25	43
2012	16	15	25	44
2013	15	15	24	46
2014	15	15	23	47
2015	16	14	25	46
2016	17	13	28	42
Total general	15	14	29	41

Presupuesto Nacional. www.pte.gov.co, cálculos propios.

4. PIE DE FUERZA

Efectivos						
Año	Ejército	Arma- da	Fuerza Aérea	Fuerzas Militares**	Policía Nacio- nal	Fuerza Pública
2.002	168.852	22.212	11.776	202.840	110.123	312.963
2.003	192.093	24.155	11.761	228.009	117.020	345.029
2.004	202.955	28.471	11.878	243.304	122.788	366.092
2.005	212.233	28.667	11.846	252.746	128.390	381.136
2.006	225.008	29.659	12.321	266.988	139.386	406.374
2.007	226.317	31.582	12.287	270.186	135.644	405.830
2.008	238.889	33.385	13.108	285.382	145.871	431.253
2.009	236.537	34.716	13.611	284.864	152.359	437.223
2.010	227.885	34.709	13.418	276.012	159.071	435.083
2.011	235.407	34.237	13.817	283.461	163.635	447.096
2.012	234.993	34.452	14.364	283.809	165.300	449.109
2.013	239.495	33.668	14.743	287.906	177.929	465.835
2.014	239.800	35.710	15.027	290.536	180.511	471.047
2.015	241.296	36.245	15.375	292.916	186.203	479.119
Tasa de crecimiento interanual , %	2,8	3,8	2,1	2,9	4,1	3,3

5. HISTÓRICO JUDICIAL Y RECLUSIONES

Año	Población de Co- lombia Habi- tantes ¹	Cap- turas Policía Nacion- al ²	Ingre- so de procesos Judicia- les ³	Inventar- io Inicial	Egreso de pro- cesos Judicia- les	Ingre- so de reclu- sos	Máxi- ma po- blación re- clusión ⁴	Egreso de Re- clusos
2.010	45.509.783	220.278	2.303.378	1.581.675	2.562.371	24.395	85.008	45.412
2.011	46.048.138	224.715	2.700.662	1.596.937	2.976.840	39.763	101.219	48.050
2.012	46.581.079	264.378	2.919.693	1.738.310	3.148.478	41.528	114.964	53.755
2.013	47.119.875	277.962	3.012.046	1.708.035	3.272.608	45.700	120.575	60.676
2.014	47.662.978	272.837	3.005.030	1.572.493	3.137.876	56.014	124.293	50.570
2.015	50.144.971	260.541	3.065.393	1.434.967	2.973.244	52.712	125.841	51.000

6. PROYECCIÓN PARA PROCESOS JUDICIALES Y RECLUSIONES

Año	Población de Colombia Habitantes	Cap-turas Policía Nacio-nal	Ingre-so de procesos Judicia-les	Inventar-io Inicial	Egreso de procesos Judiciales	Ingreso de reclusos	Máxima po-blación reclusión	Egreso de Re-clusos
Interperiodos	15	5	15	15	15	5	5	5
Tasa de crecimiento, %	1,47	3,41	3,93	0,84	4,04	16,66	8,16	2,35
Valor Inicial	40.290.719	220.278	1.718.987	1.265.632	1.640.713	24.395	52.503	45.412
Valor al 2010	45.509.783	220.278	2.303.378	1.581.675	2.562.371	24.395	85.008	45.412
Valor al 2015	50.144.971	260.541	3.065.393	1.434.967	2.973.244	52.712	125.841	51.000
Proyección al 2020	53.938.828	308.163	3.717.269	1.496.305	3.624.904	113.899	186.288	57.276
Proyección al 2030	62.409.363	431.113	5.466.379	1.626.958	5.388.011	531.784	408.234	72.239
Proyección al 2040	72.210.108	603.116	8.038.508	1.769.020	8.008.671	2.482.864	894.610	91.110
Proyección al 2050	83.549.959	843.744	11.820.917	1.923.486	11.903.986	11.592.316	1.960.463	114.912

¹ Dane² Ponal³ Rama Judicial⁴ INPEC

7. VALORES CALCULADOS PARA EL MODELO DINAMICO

Año	Crecimiento poblacional	Capturabilidad	Encarcelabilidad	Excarcelabilidad
2.010	101,170	0,5	11,1	1,9
2.011	101,183	0,5	17,7	1,2
2.012	101,157	0,6	15,7	1,3
2.013	101,157	0,6	16,4	1,3
2.014	101,153	0,6	20,5	0,9
2.015	101,011	0,5	20,2	1,0
Incremento % anual	1,132	3,4	5,9	-1,9
Incremento % mensual	0,094	0,3	0,5	-0,2

8. RESULTADOS DEL MODELO

Año	Capturados		Encarcelados		modelado	
	Registados	Modelados	Registados	Modelados	Ex encarcelados	Ex capturados
2001		170728	54.742	47.864	24084	143483
2002		198849	53.817	45.591	48980	318198
2003		203678	62.718	45.773	73917	495646
2004		208623	69.036	47.577	99801	675762
2005		213688	72.523	50.468	127235	858466
2006		218877	66.578	54.148	156657	1043666
2007		224192	64.281	58.459	188414	1231253
2008		229635	70.900	63.327	222811	1421099
2009		235212	77.588	68.724	260136	1613059
2010	220.278	240922	85.008	74.652	300680	1806967
2011	224.715	246773	101.219	81.134	344744	2002630
2012	264.378	252765	114.964	88.202	392645	2199836
2013	277.962	258903	120.575	95.901	444728	2398339
2014	272.837	265192	124.293	104.279	501360	2597866
2015	260.541	271631	125.841	113.394	562942	2798111

Adoption Process Of Solar PV On Commercial Buildings

N. Ramírez, C. J. Francoi, Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín,
L. M. Cárdenasiii, Universidad de Antioquia

Abstract - This article focuses on the problem of commercial buildings, which consume 40% of the world's energy and contribute 30% of greenhouse gas emissions related to energy consumption. If we do not generate changes in our habits of consumption, the temperature of the earth will increase, becoming uninhabitable for humans. Currently the world has made progress in generating policies for self-generation from unconventional sources of energy; however, it is necessary to implement actions and regulations to achieve diversification of the world energy matrix. Colombia as a developing country has a long way to go. The objective of this work is to evaluate the process of adoption of solar panels in buildings in the commercial sector of Colombia, through a simulation model in systems dynamics.

Keywords - System dynamics, energy efficiency, commercial buildings, electricity market, greenhouse gases, self-generation, unconventional sources of energy, photovoltaic solar energy.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es evidente y es consecuencia de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) que se han venido acumulando desde la revolución industrial, momento en el que se da el desequilibrio entre las emisiones y los sumideros naturales [1]. El IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) confirma que de seguir emitiendo la tasa actual de emisiones de GEI, para finales del siglo va a ser inevitable un incremento en la temperatura global promedio de la tierra superior a los 4°C. Este aumento de la temperatura duplicaría el límite aceptado por algunos científicos, como un máximo para evitar daños irreversibles a los sistemas climáticos y evitaría que los modelos socioeconómicos se desmoronen [2].

La energía contribuye a la mejora del estilo de vida de las personas, en la medida que aporta a los indicadores de desarrollo socioeconómico. Sin embargo, la producción y el consumo de energía son responsables de un impacto ambiental grande a través de las emisiones de GEI. Tanto el sector comercial como institucional son uno de los cinco sectores socioeconómicos que mayor aportan a las emisiones. Estos sectores consumen energía principalmente a través de la calefacción y refrigeración de edificios, la iluminación, el calentamiento del agua, los equipos auxiliares de funcionamiento y los motores auxiliares de accionamiento [3].

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, los edificios consumen anualmente el 40% de los materiales que entran en la economía mundial, el 40% de la energía mundial y son responsables del 30% de las emisiones relacionadas con el consumo de energía [4]. Entre 1971 y 2004, las emisiones de GEI procedentes de edificios comerciales aumentaron un 2,5% anual [5] y el consumo de energía creció globalmente en un 67% entre 1980 y 2010 [6], la demanda de energía comercial está aumentando a medida que crece la población mundial y, junto con ella, la urbanización.

En Colombia de acuerdo con la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) el sector comercial consume el 20% de la energía del Sistema Interconectado Nacional (SIN) [7] y es el responsable del 3% del total de las emisiones de GEI nacionales [8]. Si evaluamos el porcentaje de emisiones del sector no es muy significativo, sin embargo, el sector enfrenta un reto que es la creciente urbanización y el crecimiento del sector de la construcción en un futuro próximo, además del compromiso que asumió el país en la COP21 en reducir el 20% de sus emisiones para el 2030.

Todas estas cifras implican la necesidad de diversificar la matriz energética del país a través de fuentes no convencionales de energía (FNCE), evitando la generación de emisiones a la atmósfera y adoptando medidas de eficiencia energética, que permiten reducir el consumo de energía para las operaciones (calefacción, refrigeración, iluminación, entre otros) sin afectar

salud y comodidad de los ocupantes, cuando el objetivo es alcanzar una temperatura global promedio no mayor a los 2°C. De esta manera se estimula el crecimiento económico, se fomenta la innovación tecnológica y se mitigan los impactos de la generación de emisiones y el consumo desmedido de recursos.

Debido al comportamiento dinámico del mercado colombiano, se hace necesario emplear una herramienta metodológica como dinámica de sistemas para el análisis del comportamiento del sistema, las relaciones y realimentación entre sus elementos bajo el análisis del proceso de adopción de paneles solares para la auto-generación. Esta herramienta permite representar el vínculo entre las variables que influyen el sistema, de una forma más clara y simplificada y de esta manera facilita el análisis de adoptar la energía solar fotovoltaica para promover la autogeneración en edificios comerciales.

El presente documento se organiza de la siguiente manera: en la

sección 2 se expone una revisión de las diferentes políticas públicas a nivel mundial y local de eficiencia energética en edificios comerciales y autogeneración a través de energía solar fotovoltaica, la sección 3 describe la hipótesis dinámica que facilita el análisis sistémico de la adopción de paneles solares en edificios comerciales, la sección 4 presenta la formulación del modelo de simulación, la sección 5 presenta los resultados de la simulación, junto con la discusión en la sección 6 y finalmente la sección 7 presenta las conclusiones finales de este trabajo.

II. ESTADO DEL ARTE

Políticas mundiales

La introducción de códigos de eficiencia energética (conocido por sus siglas en inglés como Building Energy Efficiency Codes (BEECs)) para edificios residenciales y no residenciales se originó alrededor de la primera crisis del petróleo a mediados de los años 70 en los países desarrollados. En esta época la Unión Europea crea los primeros reglamentos con requisitos técnicos mínimos para el envoltorio del edificio, con el objetivo principal de disminuir el consumo de energía de los sistemas de calefacción, reduciendo la transferencia de calor por envoltorio [9].

La normativa europea sobre eficiencia energética de los edificios se basa en directivas que deben ser aplicadas por todos los estados miembros de la Unión Europea. La Directiva sobre rendimiento energético de los edificios (Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)) 2002/91/EC [10] establece un marco común destinado a fomentar la mejora del rendimiento energético de nuevas construcciones, revisada por la EPBD 2010/31/EU [11] relativa a la eficiencia energética de los edificios, introdujo la certificación energética obligatoria a partir de 2006. Esta Directiva establece que, para el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos deberán ser edificios de energía casi cero (nearly zero energy buildings (NZE)).

Para la misma época, Estados Unidos publica en 1975 ASHRAE Standard 90 un estándar de consenso voluntario que establece requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios. En el año 2001 la norma se divide en ASHRAE 90.1 estándar de energía para edificios (excepto residencial de baja altura) y ASHRAE 90.2 diseño eficiente en energía de edificios residenciales de baja altura. La última versión de la norma se publicó en 2013 y establece requisitos mínimos para el envoltorio, los sistemas de aire acondicionado, ventilación, calefacción de agua, iluminación, motores eléctricos y distribución de electricidad [12].

Debido a las diferentes zonas climáticas que presenta Estados Unidos, se definen siete zonas climáticas las cuales presentan diferentes parámetros. La norma ASHRAE 90.1 es informativa y cada estado americano es libre de adoptarlo o desarrollar estándares más restrictivos si lo desea.

Con relación a políticas de autogeneración la Comisión Europea publicó la Directiva 2009/28/CE, en la cual se definen acciones y normativas para lograr que el 20% del consumo final de energía provenga de fuentes de energía renovable en todos los estados miembros de la Unión Europea, meta para el año 2020. Además, se fijó un objetivo del 10% de energías renovables en el sector del transporte, que debe ser alcanzado por cada Estado miembro. Cada país debe elaborar un plan de acción que le permita alcanzar su meta y presentarlo ante la Comisión Europea. Dentro de los tipos de instrumentos de política implementados se incluyen políticas regulatorias, incentivos fiscales y financiamiento público [13].

Sin embargo, en octubre de 2014, el Consejo Europeo adopta el Marco de clima y energía para 2030, cuyos objetivos son: reducir en al menos 40% las emisiones de GEI en relación con los niveles de 1990; alcanzar una cuota de 27% de energías renovables y lograr al menos 27% de mejoras en eficiencia energética [14].

Políticas locales

Solo a partir del año 2001 Colombia expide la Ley 697 mediante la cual se fomenta el Uso Racional y Eficiente de la energía (URE) y la utilización de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), estableciendo el marco jurídico para el desarrollo de la normatividad posterior en eficiencia energética en Colombia [15].

Esta ley crea el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía (PROURE), el cual se reglamenta en el Decreto 3683 de 2003 y donde además se crea la comisión intersectorial de URE (CIURE). El objeto del decreto es suministrar progresivamente programas y proyectos para que toda la cadena energética cumpla permanentemente con los niveles mínimos de eficiencia energética [16].

Después de 7 años se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el PROURE y se definen objetivos específicos, subprogramas estratégicos y prioritarios y metas del ahorro por primera vez. Este plan se encuentra reglamentado de acuerdo a la Resolución 180919 del 1 de junio de 2010 [17]. De acuerdo con el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 el potencial de ahorro a 2015 para el sector comercial, público y servicios era de 4,6% (GWh/año) y la meta de ahorro de 2,66% (Tcal/año).

Como resultado de la Ley 697, se crean los Reglamentos Técnicos para Instalaciones Eléctricas (RETIE), de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) y se ha proyectado el Reglamento de Etiquetado (RETIQ). Sin embargo, en el sector de los edificios comerciales que es el objeto del presente trabajo se ha avanzado poco.

Finalmente en el año 2014, el gobierno nacional expide la Ley 1715 por medio de la cual se regula la integración de las FNCE al sistema energético nacional. En el capítulo V desarrollo y promoción de la gestión eficiente de la energía, artículo 26 se ratifica la necesidad de desarrollar el PROURE a través de planes de acción

indicativos, reglamentaciones técnicas y sistemas de etiquetado e información al consumidor. Por otra parte, el artículo 30 expone que el gobierno nacional y el resto de administraciones públicas, establecerán objetivos de eficiencia energética para los edificios de las administraciones públicas [18].

Adicionalmente, en la presente ley se otorga el incentivo fiscal como deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta hasta un 50% del valor de las inversiones, para el desarrollo de proyectos de gestión eficiente de la energía.

Igualmente, en el capítulo II Disposiciones para la generación de electricidad con FNCE y la gestión eficiente de la energía, artículo 8 se promociona la autogeneración a pequeña y gran escala y la generación distribuida por medio de la venta de excedentes a la red de distribución y los incentivos tributarios que se establecen en el capítulo III como es la reducción de hasta un 50% del impuesto de renta, exclusión de IVA para equipos, maquinaria y servicios nacionales e importados, exención del pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos y una tasa de depreciación no mayor al 20% como tasa global anual, aplicable a maquinarias, equipos y obras civiles [18].

Trabajos dinámica de sistemas

Se tomaron varios trabajos como referencia los cuales involucran la dinámica de sistemas para simular el mercado de la electricidad en Colombia, permitiendo representar el comportamiento de los agentes implicados. Trabajos como el de Dyner & Zuluaga, 2007 donde se exploran alternativas que pueden facilitar la introducción de energía renovable en el mercado eléctrico colombiano; Jiménez; Dyner & Franco, 2016 examinan la difusión de la electricidad solar en tejados con un sistema de soporte de baterías como también sin ningún otro tipo de almacenamiento; Cárdenas, Franco & Dyner, 2016 analizan los efectos de las políticas de mitigación de GEI sobre los precios y la demanda de electricidad, a través de un análisis integrado de demanda y oferta. Finalmente Cárdenas, Zapata, Franco & Dyner, 2017 evaluaron el efecto combinado de la difusión de la generación de techos solares, la eficiencia energética y la conservación de electricidad en el sector residencial en la reducción de GEI.

III. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Para poder discutir el modelo que se desarrolló en el presente trabajo se hace necesario citar el trabajo desarrollado por Dyner & Franco, 2004 en el cual exponen que la toma de decisiones de un individuo se basa en la racionalidad, sin embargo, la racionalidad se asume en un contexto de certeza lo que en la vida real no pasa todo el tiempo, debido al desconocimiento de todas las alternativas y la incapacidad de procesar toda la información [19].

A raíz de la complejidad de la toma de decisiones en un contexto real, se desarrolla la teoría de la racionalidad limitada, la cual admite al hombre como un ser que trata de ser racional con lo que tiene y de esta manera busca formas apropiadas en la toma de decisiones [20]. De acuerdo con Elster, 1990, para que una acción sea tomada como racional debe ser el resultado de tres decisiones: el deseo, las creencias y las evidencias. Los deseos y creencias deben fundamentarse de la mejor manera y tener la mayor cantidad de evidencias necesarias para que sean respaldados. De esta manera la toma de decisiones es un proceso más reflexivo [21].

El modelo realizado por Dyner & Franco, 2004 establece que los deseos y las oportunidades incitan el proceso de toma de decisiones sobre la electricidad y la racionalidad limitada permite entender gran parte del comportamiento de los individuos en los mercados de electricidad. Ver Fig.1.

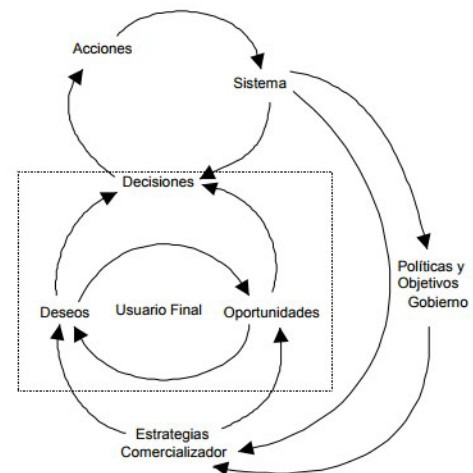


Figura 1. Marco general de toma de decisiones del consumidor, [22]

De acuerdo con el esquema propuesto, las decisiones de adoptar y sustituir paneles solares va a depender del conocimiento, los valores y la actitud que tenga el usuario frente al medio ambiente (deseo), de la disponibilidad y del precio de los paneles solares (oportunidades) y de las regulaciones y políticas existentes e incentivos (condiciones del sistema). La toma de decisiones del usuario va a ser el resultado de equilibrar las oportunidades y los deseos.

Hipótesis dinámica

La hipótesis dinámica del presente trabajo, representa el esquema de adoptar tecnología solar fotovoltaica (FV) en edificios en el sector comercial de Colombia. Esta descrita por tres ciclos de balance y tres de refuerzo, para entenderla se hace necesario desglosar cada uno de los ciclos que la componen. Ver Fig.2.

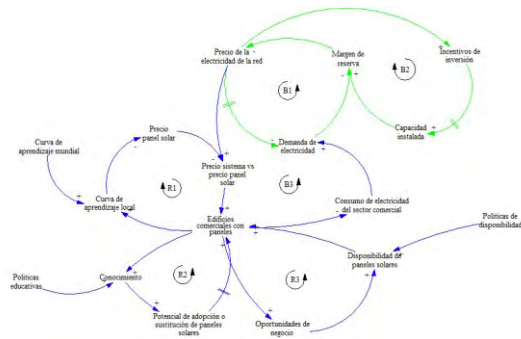


Figura 2. Hipótesis dinámica de grado de adopción de paneles solares en edificios comerciales. Elaboración propia

Los ciclos de balance B1 y B2 conforman la hipótesis del mercado, la cual tiene como puntos centrales el margen de reserva y el precio. Como de muestra en la Fig. 3 a medida que el precio de la electricidad aumenta el margen de reserva disminuye, lo cual afecta tanto a la oferta como a la demanda. Igualmente, a medida que el precio aumenta la demanda disminuye en el futuro inmediato, caso contrario de la oferta donde se da un aumento en las inversiones en capacidad instalada a largo plazo.

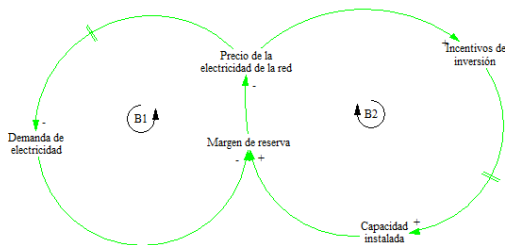


Figura 3. Hipótesis dinámica de los mercados eléctricos. Elaboración propia

El ciclo de balance B3 nos muestra la relación de la hipótesis del mercado eléctrico con los edificios comerciales que autogeneran a través de paneles solares. Al aumentar el número de edificios comerciales con paneles, la demanda de la red va a disminuir debido a que hay una reducción en el consumo de electricidad. Por otra parte, a mayor precio de la electricidad de la red, mayor precio del sistema vs precio de los paneles solares y por consiguiente un incremento en el número de edificios comerciales auto-generadores. Ver Fig. 4.

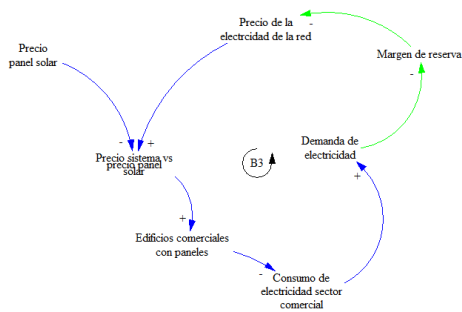


Figura 4. Relación entre el mercado eléctrico y la adopción de paneles solares. Elaboración propia

El ciclo de refuerzo R1 expone la relación del precio de la electricidad de la red y el precio de los paneles solares para satisfacer las necesidades de electricidad de un edificio comercial. A mayor desarrollo de la autogeneración por medio de paneles solares a nivel mundial, habrá un mayor desarrollo de la tecnología en Colombia, lo que genera en el futuro, una disminución en el precio de los paneles y un aumento en el número de edificios comerciales auto-generadores por medio de paneles solares. Con el aumento de edificios comerciales auto-generadores, la demanda de paneles incrementa y como resultado el desarrollo de los mismos en Colombia, lo que permite cerrar el ciclo. Ver Fig. 5.

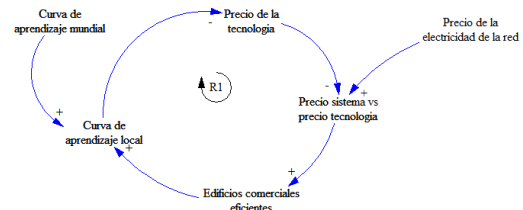


Figura 5. Crecimiento de edificios con paneles solares mediante el precio. Elaboración propia

El ciclo de refuerzo R2 evidencia como las políticas educativas generadas por el gobierno, generan mayor conocimiento al consumidor final y esto genera un aumento en la adopción de tecnología solar FV o sustitución de otras tecnologías. Mientras mayor sea la comprensión que poseen las personas respecto a la tecnología solar y sus ventajas, mayor será el número de edificios comerciales que autogeneren a partir de paneles solares. Ver Fig. 6.

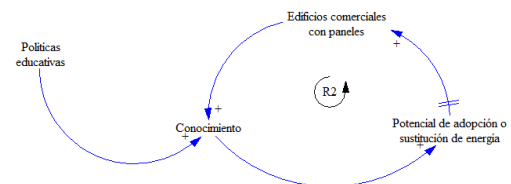


Figura 6. Proceso de conocimiento para la adopción de paneles solares. Elaboración propia

Finalmente, el ciclo de refuerzo R3 representa la influencia de la disponibilidad de los paneles solares para la autogeneración en edificios comerciales. A medida que exista mayor disponibilidad de paneles en el mercado, generada por políticas públicas y mayores oportunidades de negocio, mayor será el número de edificios comerciales auto-generadores. Ver Fig. 7.

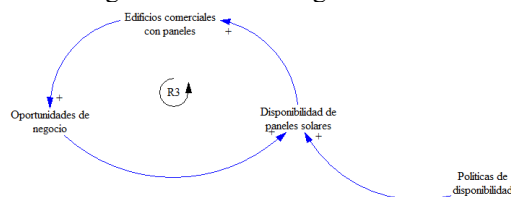


Figura 7. Disponibilidad de auto-generación por medio de paneles solares. Elaboración propia

IV. FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

La hipótesis dinámica descrita en la sección anterior puede ser representada por medio de un diagrama de flujos y niveles construido bajo el software PowerSim Studio 10 con el propósito de entender la autogeneración a través de la tecnología solar fotovoltaica.

Debido al corto tiempo para adquirir los datos y poder presentar los resultados completos de la hipótesis dinámica planteada, a continuación se presenta los efectos que tendría para el mercado eléctrico la autogeneración en el sector comercial, teniendo en cuenta solo el porcentaje de penetración de la tecnología solar FV y la tasa de crecimiento de la demanda del sector comercial.

A continuación se muestra el diagrama de flujos y niveles construido, a través de varios módulos. La figura 8 exhibe el módulo de porcentaje de penetración de la tecnología solar FV en edificios comerciales, en él se muestra cómo los edificios del sector comercial con paneles dependen del total de edificios del sector comercial por un porcentaje de penetración, el cual va variando.

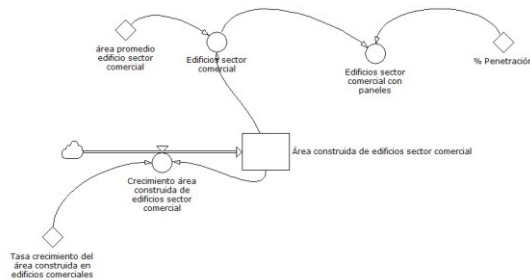


Figura 8. Diagrama de flujos y niveles. Sección porcentaje de penetración edificios con paneles. Elaboración propia.

La figura 9 muestra el módulo donde se calcula la energía generada por edificio al año, teniendo en cuenta la capacidad instalada por la instalación solar por edificio, la vida útil de los paneles, el factor de desgaste de eficiencia anual, las horas en el año en que hay radiación solar y el factor de carga promedio. Finalmente, se calcula la demanda de electricidad de edificios comerciales que han adoptado la tecnología.

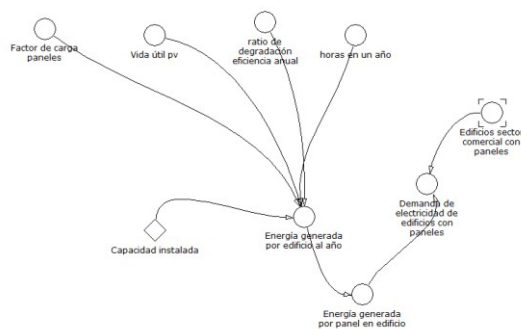


Figura 9. Diagrama de flujos y niveles. Sección cálculo energía generada por panel solar. Elaboración propia.

La figura 10 muestra el cálculo de la demanda comercial que se

ve afectada por la demanda comercial de edificios con paneles y a su vez afecta la demanda total del sistema. La tasa de crecimiento de la demanda del sector comercial es otro parámetro que varía a través del tiempo.

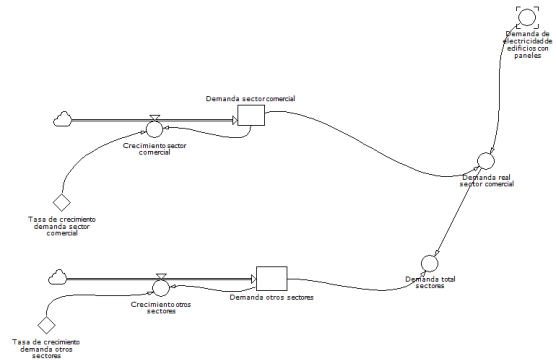


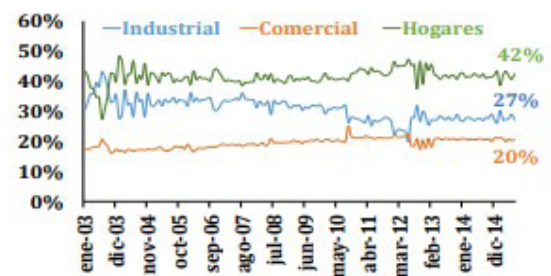
Figura 10. Diagrama de flujos y niveles. Sección de demanda total del sistema. Elaboración propia

Supuestos y especificaciones

El horizonte del tiempo del modelo son 20 años, comenzando la simulación en 2017 y finalizando en el 2037, con un paso de simulación anual. Se quiso evaluar el comportamiento de la demanda de energía eléctrica del sector comercial y la demanda de energía eléctrica total al adoptar tecnología solar fotovoltaica para auto-generación en edificios comerciales en Colombia., pues este representa el 20% de la demanda eléctrica total y es un sector fundamental en la planeación energética del país. La adopción de los sistemas FV sólo se da en el sector comercial. Los demás sectores (industrial y residencial), no presentan ninguna adopción de sistemas de micro-generación fotovoltaica.

La capacidad instalada por edificio es de 100KW valor que permite ser usuario no regulado y contratar el suministro de energía en el mercado competitivo.

Los valores de la demanda tanto del sector comercial como de los otros sectores se obtuvieron de Expertos en mercados (XM) del año 2015, asumiendo que el 20% aproximadamente de la demanda total corresponde al sector comercial y el 80% restante a los otros sectores, esto de acuerdo con el comportamiento que han presentado los sectores a lo largo del tiempo. Ver Gráfica 1.



Gráfica 1 Consumo de energía eléctrica por sectores 2010- 2013, [7]

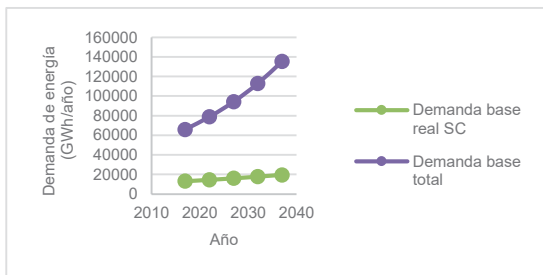
El total de edificios en Colombia, de acuerdo al censo de edificaciones realizado por el DANE, para los años 1997 a 2017 se tiene un total de 508.265.647 m² [23], de los cuales analizando el comportamiento histórico de los sectores, el sector comercial representa el 25% aproximadamente del total de área culminada año a año lo que equivale a 127.066.412 m² y los otros sectores un 85% siendo el equivalente a 381.199.235 m².

Se asume que el área promedio de un edificio comercial en Colombia es de 6.500 m², tomando como referencia el área de edificio de oficina mediano en Estados Unidos [24].

El valor de la tasa de crecimiento anual de edificios del sector comercial (1%), en términos de porcentaje de la superficie construida, se obtuvo del estudio “Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono” (ECDBC) [25], la cual se basa en la estimación del crecimiento del PIB del sector de la construcción.

V. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

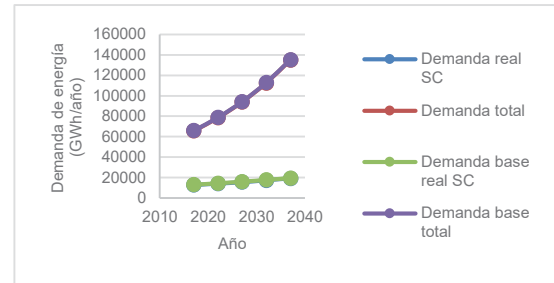
Para el análisis de los resultados arrojados por el modelo, se cuenta con un escenario base donde hay cero por ciento de penetración de la tecnología Solar FV y una tasa de crecimiento de la demanda del sector comercial del 2%. Ver gráfica 2.



Gráfica 2 Demanda base de energía eléctrica

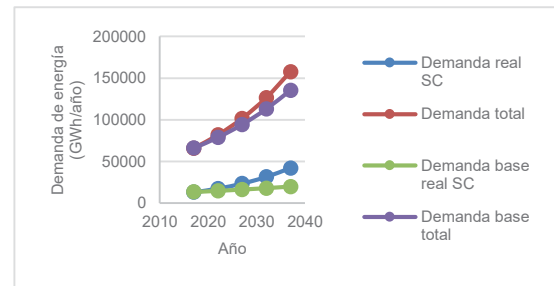
Se realizaron variaciones de la tasa de crecimiento de la demanda del sector comercial junto con el porcentaje de penetración de la tecnología solar FV, arrojando los siguientes escenarios:

Un escenario con un 10% de penetración de la tecnología y un 2% de crecimiento de la demanda del sector comercial. Ver gráfica 3.



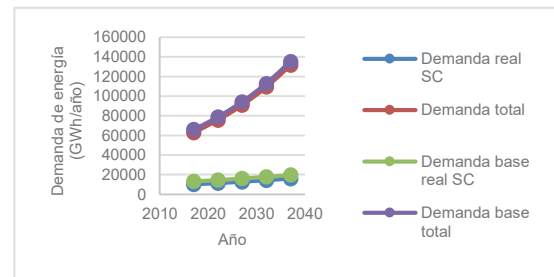
Gráfica 3 Escenario bajo-bajo

Un escenario con un 10% de penetración de la tecnología y un 6% de crecimiento de la demanda del sector comercial. Ver gráfica 4.



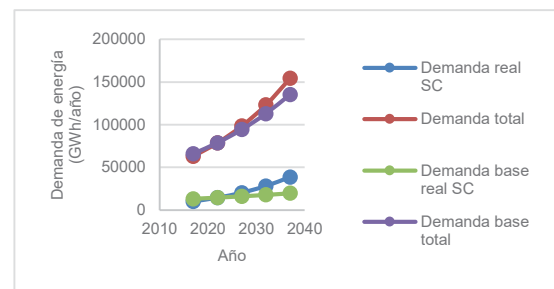
Gráfica 4 Escenario bajo-alto

Un escenario con un 100% de penetración de la tecnología y un 2% de crecimiento de la demanda del sector comercial. Ver gráfica 5.



Gráfica 5 Escenario alto-bajo

Un escenario con un 100% de penetración de la tecnología y un 6% de crecimiento de la demanda del sector comercial. Ver gráfica 6.



Gráfica 6 Escenario alto-alto

VI. DISCUSIÓN

Con el desarrollo de esta simulación se obtuvo que:

- Al tener una mayor penetración de la tecnología FV hay una disminución en la demanda real del sector comercial y en la demanda total del sector.
- El aumento en la tasa de crecimiento de la demanda del sector comercial genera un mayor crecimiento de la demanda real del sector comercial y en la demanda total del sector.
- Tanto el crecimiento de la demanda como el de penetración de la tecnología causan disminución en la demanda real del sector comercial y en la demanda total del sector.
- El porcentaje de penetración no alcanza a disminuir la demanda del sector debido al continuo crecimiento de la misma.

VII. CONCLUSIONES FINALES

1. El grado de adopción de paneles solares es **afectado** por las características del mercado y el control de grandes generadores en el mercado eléctrico por grandes centrales hidroeléctricas y termoeléctricas.
 - El diseño de estrategias debe tener en cuenta las características del mercado y sus antecedentes.
2. La adopción de la tecnología solar fotovoltaica plantea **retos** grandes para Colombia en el diseño, análisis y evaluación de estrategias que promuevan su adopción.
3. La aplicación de políticas que busquen **romper las barreras de entrada** ayudan a impulsar un modelo de generación de cero emisiones en el mercado colombiano.
 - Se requiere desarrollar estrategias que: permitan a la tecnología solar fotovoltaica competir en precio, incrementen el conocimiento de los consumidores con las tecnologías, disminuya el costo de la inversión y se pueda vender los excedentes a la red.

VIII. REFERENCIAS

- [1] J. C. Pires, «COP21: The algae opportunity?», Renewable and Sustainable Energy Reviews, p. 867–877, 2017.
- [2] D. Victor y D. Zhou, «Climate change 2014: mitigation of climate change Intergovernmental panel on cli-

mate change 5th assessment report,» Cambridge University Press, Cambridge, 2013.

[3] Office of Energy Efficiency, «Energy Efficiency Trends in Canada 1990-2005,» 580 Booth Street, 18th Floor, Ottawa, 2008.

[4] International Energy Agency, Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050, Paris: IEA, 2013.

[5] United Nations Environment Programme, «Buildings and Climate Change. Summary for Decision-Makers. Sustainable Buildings & Climate Initiative,» UNEP, Francia, 2009.

[6] International Energy Agency, «Energy Technology Perspectives 2012,» OECD/IEA, Paris, 2012.

[7] UPME, «Proyección de Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia,» Bogotá, 2015.

[8] IDEAM, «Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero - Colombia,» Zetta Comunicadores, Bogotá, 2016.

[9] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, R. González y I. Maes, «A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes,» Energy Build, pp. 272-278, 2009.

[10] European Parliament, «Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council, of 16 December 2002, on the energy performance of buildings,» European Community, 2003.

[11] European Parliament, «Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council, of 19 May 2010, on the energy performance of buildings (recast),» European Community, 2010.

[12] American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, «ANSI/ASHRAE Standard 90.1 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings,» Atlanta, 2013.

- [13] European Comission, «Directive 2009/28/EC,» 2009.
- [14] European Comission, «European Comission,» 2014. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en.
- [15] Ministerio de minas y energía, «Ley 697 del 2001,» Registro Distrital 44573 del 5 de octubre de 2001, Bogotá, 2001.
- [16] Ministerio de minas y energía, «Decreto 3683 de 2003,» Diario Oficial 45409 de diciembre 22 de 2003, Bogotá, 2003.
- [17] Ministerio de minas y energía, «Resolución 180919 de 2010,» Diario Oficial 47.728 de junio 2 de 2010, Bogotá, 2010.
- [18] Congreso de Colombia, «Ley 1715 de 2014,» Diario Oficial 49150 de mayo 13 de 2014, Bogotá, 2014.
- [19] H. Simon, «A Behavioral Model of Rational Choice,» The Quarterly Journal of Economics, pp. 99-118, 2007.
- [20] H. Simon, «Bounded rationality in social science: Today and tomorrow,» Mind & Society, pp. 25-39, 1999.
- [21] J. Elster, When Rationality Fails. In Limits of rationality, Chicago: University of Chicago Press, 1990.
- [22] I. Dyner y C. J. Franco, «Consumers' bounded rationality: the case of competitive energy markets,» Systems Research and Behavioral Science, pp. 373 - 389, 2004.
- [23] DANE, «Censo de Edificaciones -CEED- Históricos,» Bogotá, 2017.
- [24] EPA, «Energy Use in Office Buildings,» Environmental Protection Agency's, 2012.
- [25] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Estrategia Colombiana Desarrollo Bajo en Carbono,» Bogotá, 2012.
- [26] T. A. Nguyen y M. Aiello, «Energy intelligent buildings based on user activity: a survey,» Energy and Buildings, p. 244-257, 2013.
- [27] Conference of the Parties, «Adoption of the Paris Agreement,» United Nations, Paris, 2015.
- [28] I. Dyner y M. M. Zuluaga, «Incentives for renewable energy in reformed Latin-American electricity markets: the Colombian case,» Journal of Cleaner Production, pp. 153-162, 2007.
- [29] M. Jimenez, I. Dyner y C. J. Franco, «Diffusion of renewable energy technologies: The need for policy in Colombia,» Energy, pp. 818-829, 2016.
- [30] L. M. Cardenas , C. J. Franco y I. Dyner, «Assessing emissions-mitigation energy policy under integrated supply and demand analysis: the Colombian case,» Journal of Cleaner Production, pp. 3759-3773, 2016.
- [31] L. M. Cardenas, M. Zapata, C. J. Franco y I. Dyner, «Assessing the combined effect of the diffusion of solar rooftop generation, energy conservation and efficient appliances in households,» Journal of Cleaner Production, p. 491-503, 2017.
- [32] Banco Interamericano de Desarrollo; Ministerio de Minas y Energía; UPME, «Smart grids Colombia: visión 2030 - Parte IV,» Bogotá, 2016.
- i Nathalie Ramírez Giraldo, estudiante de segundo semestre de maestría en ingeniería – sistemas energéticos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. E-mail: naramirezgi@unal.edu.com
- ii Carlos Jaime Franco, Ph.D Ingeniería – sistemas energéticos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Profesor Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. E-mail: cjfranco@unal.edu.com
- iii Laura Milena Cárdenas, Ph.D Ingeniería de sistemas

de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
Profesora Universidad de Antioquia. E-mail: lauram.
cardenas@udea.edu.co

Evaluación de Sostenibilidad en la Producción de Bioetanol

D. Ibarra-Vega, G. Olivar Tost, J.M. Redondo.

Resumen- En este artículo se presenta, la evaluación de cuatro indicadores de sostenibilidad por medio de un modelo que representa la cadena de suministro de bioetanol de caña de azúcar. Este se realizó con la metodología de Dinámica de Sistemas la cual permita conocer el comportamiento prospectivo de estos indicadores bajo distintos escenarios de producción y así obtener resultados que ayuden a determinar algunas estrategias claves a tener cuenta en el corto y mediano plazo de la ampliación de la capacidad instalada de producción de bioetanol de caña de azúcar en Colombia y la construcción en implementación de políticas de sostenibilidad para los biocombustibles en general.

Palabras Clave — *Biocombustibles, medio ambiente, modelamiento, dinámica de sistemas.*

I. INTRODUCCIÓN

Los principales argumentos para promover los biocombustibles planteados en [1] y citados por [2] son sus posibles efectos positivos en las dimensiones ambiental, económica y social, ya que ayudarían a la humanidad a reducir los impactos negativos del uso de combustibles fósiles y la dependencia a los mismo, así como a ampliar las fuentes de energías renovables, actuando como una materia prima sostenible para la energía y los subproductos químicos. De igual manera, [2] plantea que la generación de empleo atribuida a los biocombustibles especialmente en las zonas rurales de los países en desarrollo, permitiría a los gobiernos incentivar e implementar políticas para reducir la pobreza y la desigualdad social, siendo la generación de empleo y beneficios sociales un tema de las agendas de gobierno en los distintos países con producción agrícola.

Aunque los biocombustibles son vistos como una opción para reemplazar parcialmente los combustibles fósiles en diferentes sectores y en especial el sector transporte, el aumento de su aplicación también genera interrogantes sobre los impactos ambientales y sociales [3]. De esta manera, hay preocupaciones sobre los impactos directos e indirectos con respecto a: El aporte al cambio climático, la seguridad alimentaria, afectaciones ambientales y el desarrollo económico que aún son discutidas en distintos contextos [4]. Dando así lugar a las discusiones y necesidad de herramientas para evaluar el impacto que los biocombustibles puedan tener en el marco del desarrollo sostenible.

Se han desarrollado en diferentes contextos conjuntos de indicadores para aproximarse a la evaluación de la sostenibilidad en la producción de biocombustibles, donde se aplican diferentes metodologías y modelos para varios países, en los que se involucran las valoraciones sociales, ambientales y económicas [5]. Con ese mismo propósito se encuentran los indicadores de sostenibilidad de la Asociación Mundial de Bioenergía (GBEP en inglés). La cual representa a los países vinculados que están produciendo energía de biomasa y nació por iniciativa de la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Esta asociación desarrolló un conjunto de 24 indicadores para la evaluación producción sostenible de bioenergía. Este fue el primer consenso mundial de los gobiernos para evaluar la sostenibilidad y uso de bioenergía por medio de indicadores [6]. Estos están basados en los tres pilares de la sostenibilidad; sostenibilidad económica, social y ambiental. Estos indicadores, se enfocan en un nivel nacional y/o regional del mercado, así como en todo el ciclo de vida del biocombustible [7].

De acuerdo con [5] El uso de indicadores provee un panorama para la generación y análisis de información, ya que son útiles para compartir y comparar y para facilitar la toma de decisiones a las diferentes partes interesadas, en la construcción de políticas de sostenibilidad en diferentes contextos. Sin embargo, la evaluación y monitoreo de estos indicadores se realiza con base en datos históricos y

comportamientos presentes y pasados. Siendo esto una debilidad de las metodologías actuales, ya que es necesario la vinculación de la estructura del sistema y definición de reglas de evolución con el fin de visualizar los distintos escenarios, de futura proyección de producción de biocombustibles y el comportamiento de los indicadores de sostenibilidad en el futuro, es decir es necesario una evaluación prospectiva de la sostenibilidad.

De esta forma en este artículo se presenta un modelo de la cadena de suministro de bioetanol y la vinculación de indicadores ambientales y sociales propuestos por GBEP, para la evaluación de sostenibilidad de manera prospectiva. Este trabajo busca hacer una contribución novedosa, al sector de biocombustibles, desarrollando un modelo basado en la metodología de Dinámica de Sistemas y evaluando su comportamiento en regiones con restricciones, es decir regiones deseadas de sostenibilidad.

II. BIOETANOL EN COLOMBIA.

Actualmente en Colombia la producción de Bioetanol proviene de la caña de azúcar y debido a la inversión en este sector, la capacidad instalada de producción es de 1'650.000 litros/día [8]. La producción de etanol en Colombia se lleva a cabo principalmente en el Valle del río Cauca, principalmente en los departamentos Cauca, Valle, Risaralda y Caldas. En esta región en 2012 existían 218.311 hectáreas sembradas en caña para azúcar, actualmente hay más de 232.000 hectáreas, de las cuales el 25% corresponde a tierras propias de los ingenios y 75% el restante a más de 2.700 cultivadores de caña, siendo lo anterior un factor que permite el intercambio económico y crecimiento de la región.

Para el desarrollo de este artículo se realizó un modelamiento de la cadena de suministro de bioetanol de caña de azúcar, teniendo en cuenta como límite de estudio las etapas que se presentan en la siguiente figura.

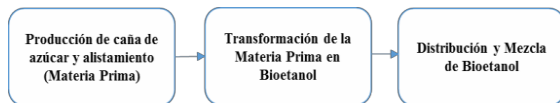


Figura 1. Sistema a estudiar.

III. METODOLOGÍA

El marco metodológico propuesto para la evaluación de la sostenibilidad en biocombustibles se resume en la siguiente figura:

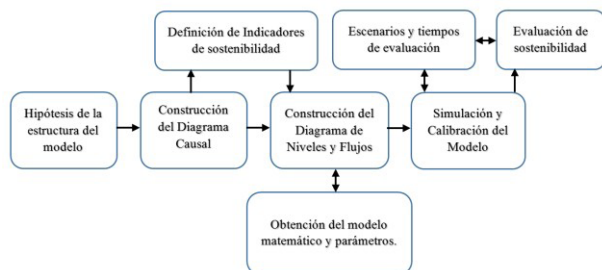


Figura (2). Marco metodológico para la evaluación de la sostenibilidad en biocombustibles, con dinámica de sistemas desarrollado en este artículo. Basado en [11 y 12]

Para la evaluación de la sostenibilidad en el sector biocombustibles se tuvo en cuenta el concepto de restricciones del sistema y regiones viables [13] y se han definido los siguientes tres Regiones:

- Región Deseada A_D
- Región de Alerta A_A
- Región no Deseada A_N

Diremos que el sistema tiene los valores deseados para el tiempo de evaluación t_e , cuando para el tiempo de evaluación y todo valor futuro a éste en un intervalo de tiempo bien definido, se tiene el estado del sistema en el escenario deseado ($\forall t \in [t_e, t_f]$) se cumple

$x(t) \in A_D$, vea Figura (2).

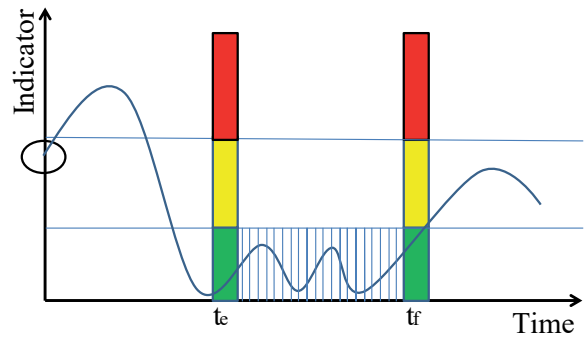


Figura (3): Evaluación prospectiva de indicadores de sostenibilidad en valores deseados.

En la figura vemos tres escenarios: escenario deseado en verde, escenario de alerta en amarillo y escenario no deseado en rojo. También vemos la evolución de un indicador de sostenibilidad, desde una cierta condición inicial en escenario de alerta. Note que desde un tiempo de evaluación t_e , hasta un tiempo final t_f , el indicador se encuentra en el escenario deseado (zona rayada).

Se parte entonces con el modelamiento del sistema a partir de los atributos principales de la cadena de suministro de la Figura (1) y se obtiene el diagrama causal del sistema. Vea Figura (3).

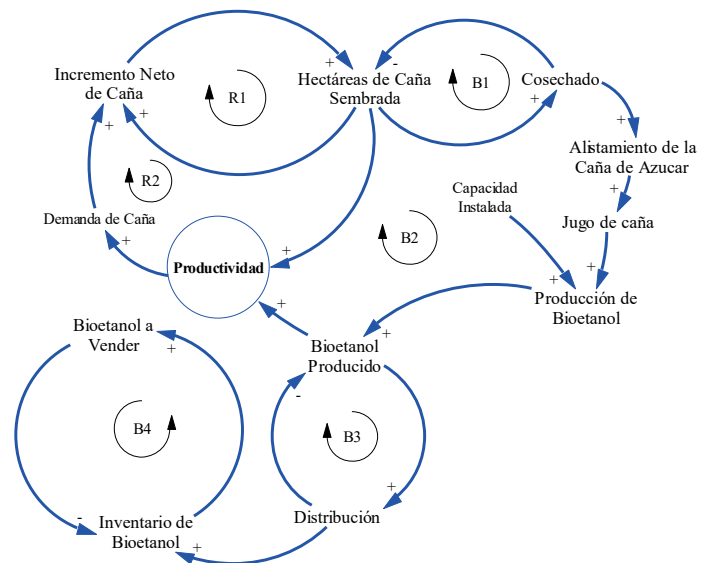


Figura 4. Diagrama Causal general.

En el diagrama causal obtenido se tienen entonces 6 estructuras o bucles de realimentación, el bucle R1 y B1 son la parte de materias primas de la cadena, con una dinámica propia del cultivo de caña de azúcar, es decir las hectáreas de cultivo de caña aumentan cuando aumentan la decisión de aumentar la siembra de caña medido como incremento neto y las hectáreas de caña disminuyen con el cosechado de cultivo. En la misma sección de materias primas se

encuentra la productividad, que está en función de la relación entre la cantidad de bioetanol que se produzca y la cantidad hectáreas de caña sembradas. Esta al ser positiva se traduce en un aumento de la demanda de caña, la cual lleva al aumento de siembra de caña, formando así el bucle R2. Por su parte el B2 representa el lado de la cadena que muestra la producción de bioetanol de caña, pues su obtención depende la cantidad de caña cosechada que aumenta la cantidad de caña en procesos de alistamiento, a partir de la cual se obtiene el jugo de caña, que es llevado a producción de bioetanol. Esta producción de bioetanol, naturalmente aumenta el inventario o cantidad de bioetanol producido, pero depende de la capacidad instalada anual de producción. El B3 y B4 representan una acumulación y desacumulación de inventario o del bioetanol producido, por la dinámica del mercado que incluye el transporte del producto y su venta o fase final que sería la mezcla con la gasolina para disposición de los consumidores.

3.1 Diagrama de Niveles y Flujos.

Luego de conceptualizar la cadena de suministro de bioetanol, se formula el diagrama de Niveles y Flujos, también conocido como diagrama de Forrester. Éste inicialmente está conformado por tres variables de nivel o variables de estado: Área de Caña Sembrada, Bioetanol producido, Inventario de Bioetanol. Las variables en círculos son las variables auxiliares las cuales permiten el cálculo de las variables de flujo que alimentan o desacumulan las variables de nivel. El diagrama se muestra a continuación:

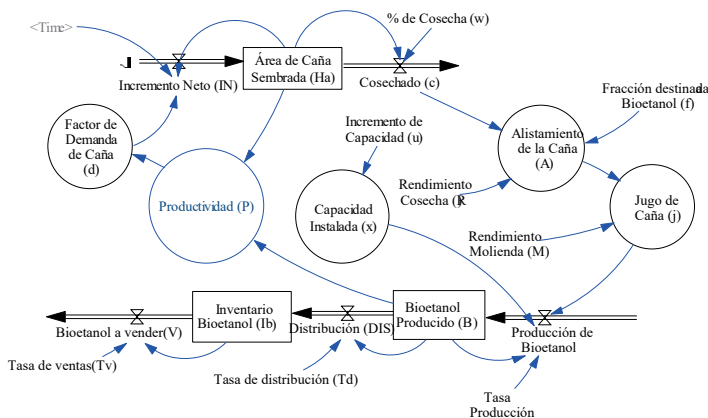


Figura 5. Diagrama de Niveles y Flujos de la Cadena de Suministro de Bioetanol

A partir del diagrama de niveles y flujos se logra establecer las ecuaciones de evolución temporal del modelo.

Una vez obtenido el modelo de la cadena de suministro, es necesario entonces realizar una validación que relacione la hipótesis dinámica, la estructura del modelo y su comportamiento [9]. En Dinámica Sistemas existen diferentes criterios o técnicas de validación establecidos por [10], donde, principalmente se requiere la validación de la estructura y comportamiento. En este trabajo se realizó la validación del comportamiento con datos históricos

y validación de parámetros con condiciones extremas, en esta última se asignaron valores extremos a las siguientes variables de la cadena de suministro de bioetanol, con el objetivo de estudiar el comportamiento del sistema e identificar irregularidades en la estructura del modelo:

- Demanda de caña de azúcar
- Incremento Neto de caña

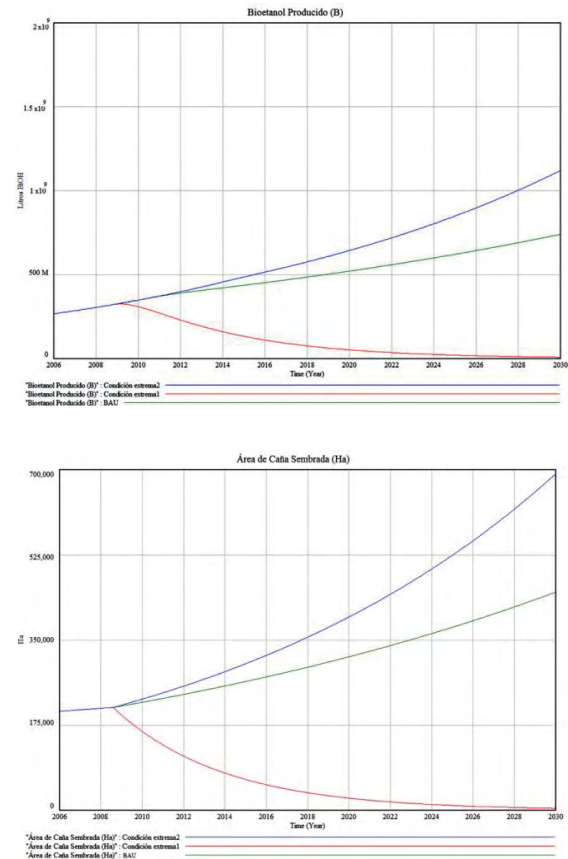


Figura 6a y 6b Simulación de producción de Bioetanol y hectáreas de caña, condiciones extremas.

3.2 Los indicadores de Sostenibilidad.

Teniendo en cuenta las 3 variables de nivel Hectáreas de caña sembradas, Bioetanol producido y transporte de bioetanol, se vincularon a la cadena cuatro variables como indicadores GBEP, estos son: Consumo de agua, Calidad de agua (DBO), Empleos, Tenencia de tierra para producción.

3.2.1 Indicadores Ambientales.

Para este artículo se describen los siguientes dos indicadores ambientales:

• Uso y eficiencia del agua.

Se define como uso del agua en el sector a la cantidad de agua extraída de cuencas hídricas determinadas a nivel nacional para la producción y procesamiento de materias primas para bioenergía [6], en este caso para la producción de bioetanol de caña de azúcar.

• Calidad del agua.

Aunque la calidad del agua en Colombia se define como el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, la definición y las medidas para el sector de bioenergía propuestas por el GBEP es la siguiente: Cantidades de contaminantes que entran en las vías fluviales y otras aguas, atribuibles a los efluentes de procesamiento de bioenergía.

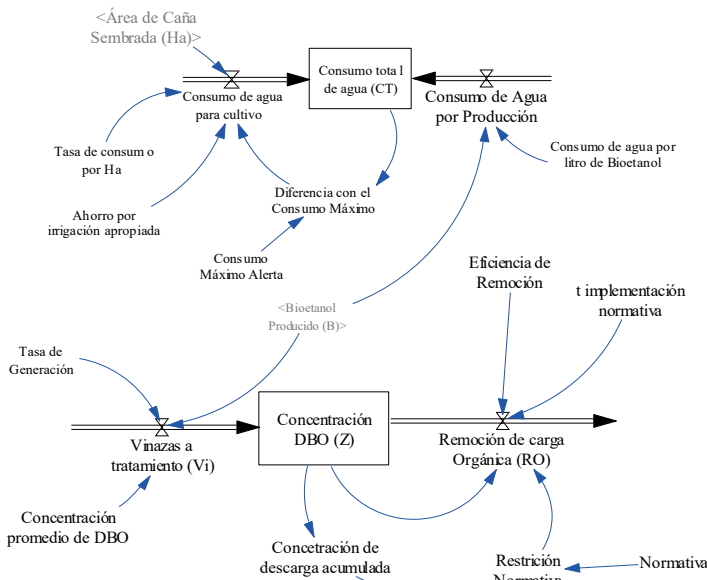


Figura 6a y 6b Simulación de producción de Bioetanol y hectáreas de caña, condiciones extremas.

3.2.2. Indicadores Sociales.

Para este artículo se describen los siguientes dos indicadores sociales:

• Empleos en el sector de la bioenergía

La definición de este indicador es la siguiente: Creación de empleo neta como resultado de la producción y el uso de la bioenergía total.

• Asignación y tenencia de la tierra para nueva producción de bioenergía.

Se define según GBEP como el porcentaje de tierra actual y la tierra usada para nueva producción de bioenergía. Esta se mide en porcentaje de tierra cultivada para la producción de bioenergía que pertenece a los dueños de las grandes industrias y al porcentaje perteneciente a los productores locales.

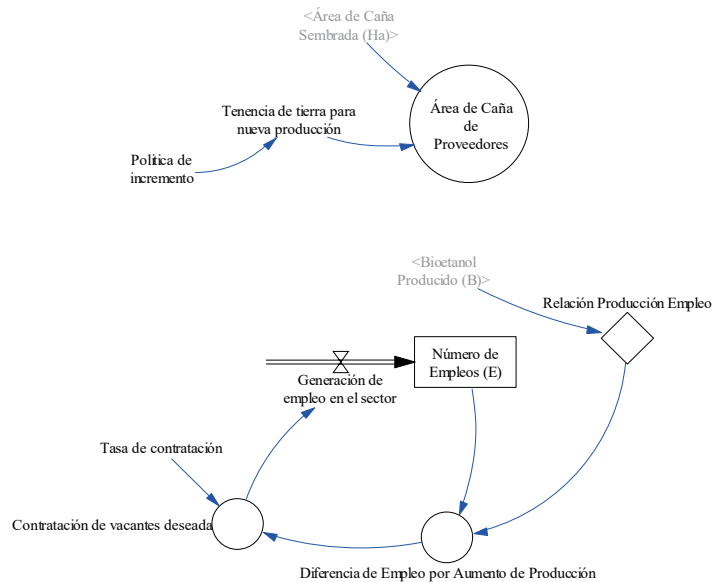


Figura 8. Diagrama de Niveles y flujos de los indicadores ambientales.

IV. SIMULACIONES

Para las simulaciones del modelo se tuvo en cuenta la información de la cadena de suministro con una producción de bioetanol de 1'650.000 mil litros/día. Los indicadores de sostenibilidad fueron simulados en 4 distintos escenarios, el escenario con condiciones normales, es decir la situación actual. El escenario E1 con una disminución de producción, el escenario E2 con un incremento importante de producción, y el escenario E3 con incremento leve de producción. En la figura 9 y 10 se presentan las simulaciones de los indicadores sociales, empleo (E) y el indicador tierra de proveedores para nueva producción de bioenergía, directamente afectados por la cadena de suministro de bioetanol.

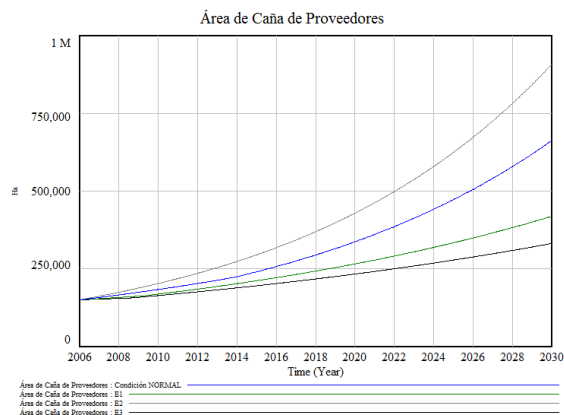


Figura 9. Simulación del indicador empleos.

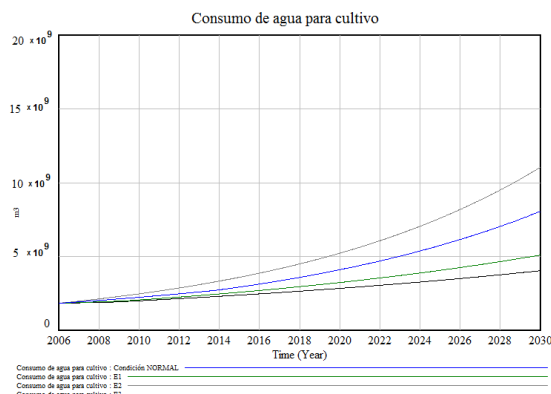


Figura 12. Simulación del indicador consumo de agua expresado en m³.

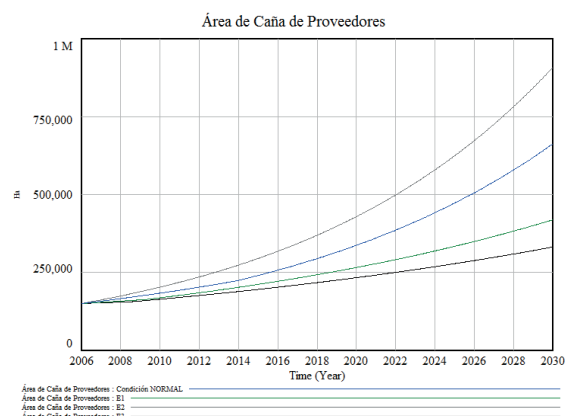


Figura 10. Simulación del indicador tierra de proveedores para nueva producción de bioenergía.

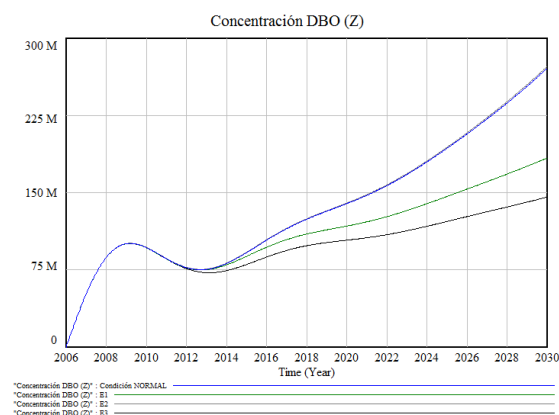


Figura 11. Simulación del indicador calidad de agua expresada en DBO.

V. CONCLUSIONES PRELIMINARES.

En este documento se estableció un modelo de cadena suministro de bioetanol teórica con una capacidad de producción de 450 millones de litros anuales. Se realizaron simulaciones con información tomada del sector real de Fedebioenergías, a partir de esto se vincularon 4 indicadores de sostenibilidad propuestos por el GBEP, 2 ambientales y 2 sociales, esto permitió ver la relación existente y validez de estos indicadores para el sector de bioetanol en Colombia. De igual manera se estableció un marco de referencia para la evaluación de indicadores ambientales en la producción de biocombustibles que será utilizado en trabajos futuros. La aplicación de las restricciones y el comportamiento con regiones de viabilidad definidas, se presentarán en la versión extendida del artículo.

VI. REFERENCIAS

- [1]. Hill, J., Erik N., David T., Stephen P., and Douglas T. (2006). Environmental, Economic, and Energetic Costs and Benefits of Biodiesel and Ethanol Biofuels. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 103 (30).
- [2]. Bautista, S.C. Sustainability Assessment of Biodiesel Production in Colombia (2015). Doctoral Thesis Universidad Nacional de Colombia. School of Engineering, Chemical and Environmental Engineering Department. Bogotá, Colombia.
- [3]. Mata, T., Martins, A., Sikdar, S., Costa, C., Martins, A. (2013). Sustainability analysis of biofuels through the supply chain using indicators. Sustain. Energy Techn. and Ass. 3. Pag 53-60.
- [4]. Valencia, M., Cardona, C.A. (2014) The Colombian biofuel supply chains: The assessment of current and promising scenarios based on environmental goals. Energy Policy 67 232-242.
- [5]. Diaz-Chavez, R. A. (2011). Assessing biofuels: Aim-

ing for sustainable development or complying with the market? *Energy Policy* 39, 5763–5769

[6]. Global Bioenergy Partnership-GBEP (2011). The global bioenergy partnership sustainability indicators for bioenergy. Rome: Global Bioenergy Partnership.

[7] Hayashi T., Ierland E., Zhu, X. (2014) A holistic sustainability assessment tool for bioenergy using the Global Bioenergy Partnership (GBEP) sustainability indicators. *Biomass and Bioenergy* V. 6- 6 pg. 70 -80

[8]. Fedebiocombustibles. (2016). Cifras Informativas del Sector Biocombustibles. [En línea] Etanol de caña anhidro en 2016.

[9] Cardenas, M. (2015). Plataforma para la evaluación de políticas de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín, Colombia.

[10]. Barlas, Y. (1989). Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models. *European Journal of Operational Research*, 42 (1) (1989), pp. 59–87

[11] Sterman, J.D., 2000. *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. I. McGraw-Hill, ed., Unites States.

[12]. Walter, J., Archer D, Sassenrathc, (2016). Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. *Ecological Modelling* Vol 333, 51–65.

[13] Aubin, J., (2011). *Viability Theory*. New Directions. Second edition. Ed Springer.

[14] Consorcio CUE, 2012. Estudio ACV- Impacto Ambiental. In: Consorcio CUE, Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Minas y Energía, Medellín.

Simulación dinámica del impacto de la firma del tratado de paz en algunas variables económicas del sector de los pequeños productores en Colombia.

Urbano Urbano, Katherine; Gutiérrez Castillo, Jordan Alejandro

Ingenieros Industriales-Universidad del Valle- Sede Buga

Peña Orozco, Diego León - Docente Ingeniería Industrial Uniminuto Centro Regional Buga

Resumen- En este artículo se utiliza la dinámica de sistemas para analizar el impacto de la firma del acuerdo de paz en el sector de los pequeños productores agrícolas, en términos de variables económicas seleccionadas. Se estudia el comportamiento de variables como el PIB, Inversión, Producción e Ingresos, entre otras, a partir de los datos históricos disponibles, permitiendo evaluar el desempeño del sistema económico en un escenario optimista y pesimista.

Palabras clave: Dinámica de sistemas, simulación, agricultura, sistema económico, acuerdo de paz, postconflicto.

Abstract- This paper use Systems Dynamics to analyze the impact of the signing of a peace agreement in the sector of small agricultural producers, in terms of the behavior of selected economic variables. Some variables such as GDP, Investment, Production and Income, among others, are studied based on the available data, in order to evaluate the economic system in an optimistic and pessimistic scenario.

Keywords: System dynamics, simulation, agriculture, economic system, peace agreement, post-conflict.

I. INTRODUCCIÓN

La firma del acuerdo de paz en Colombia, es un hecho de gran transcendencia en la historia del país, por la expectativa de la desaparición de los grandes hechos de violencia que han marcado su historia. Tal como lo menciona [1], la paz es un problema del estado y la sociedad, con intentos importantes desde 1982, con el presidente Belisario Betancourt, con la ley de amnistía para la guerrilla del M-19 y que ahora en el 2016 termina con el Presidente Juan Manuel Santos, con la firma del acuerdo de paz con la guerrilla de las FARC. Tal como lo menciona este autor, son grandes las implicaciones de la violencia, como los desplazamientos internos en huida de ella, para mencionar solo uno de los impactos. Los propietarios de pequeñas extensiones de tierra se vieron afectados por el fenómeno de la violencia, pero también por los embates de la globalización de la economía, que ofreció un espacio expedito para la aparición de los cultivos ilícitos, ligados inevitablemente a los intereses de la guerrilla de las FARC, como estrategia de financiación. [2]

El sector rural en Colombia, quizás ha sido uno de los más afectados por el fenómeno de la violencia, pero también es cierto que este sector en sí mismo tiene sus características particulares, dada la gran diversidad que se observa entre ellos, en términos de tamaño, nivel de desarrollo, estructura entre otros aspectos.

El hecho de que la paz llegue a los campos, prevé que el programa de restitución de tierra, permita devolver a los pequeños propietarios, un espacio de trabajo que les facilite su supervivencia, pero adicionalmente atender una actividad económica, que de acuerdo con las Naciones Unidas (2016), da trabajo al 40% de la población del mundo.

Es evidente que la firma del acuerdo de paz traerá implicaciones micro y macro económicas, que son de gran interés de estudio. Se trata en este documento de abordar el análisis de algunas variables económicas, y estudiar el comportamiento del sistema económico a través del tiempo, tratando de identificar sus efectos en los pequeños productores agrícolas.

En este documento se presenta el planteamiento del problema, para posteriormente hacer la identificación de la variables a abordar, se estudian sus relaciones a partir de un diagrama de influencias, se construye el diagrama de Forrester y se simula el sistema. Finalmente se presenta un análisis de escenarios modificando algunas variables del modelo y se plantean las conclusiones más relevantes del trabajo de investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como resultado del proceso de negociación que el gobierno Colombiano realizó con la guerrilla de las FARC (Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia), el 24 de agosto de 2016, se dieron a conocer los acuerdos alcanzados entre las partes, resumidos en seis puntos, entre los cuales se incluye una política agraria integral, lo que permite ver la importancia de este sector económico en la agenda negociada con el fin de terminar un conflicto con más de 50 años en el país. La firma del acuerdo, traerá grandes reper-

cusiones en diferentes escenarios nacionales, siendo el objeto de este trabajo, revisar los impactos en la economía de los pequeños productores agrícolas. [3], hace un recorrido sobre las diferentes etapas de los procesos de paz en algunos países con antecedentes en este sentido, y asegura que en un estudio que involucró los casos de 36 países de los cuales encontró similitudes en 18 de ellos con el caso de Colombia, se logra entender el comportamiento en la economía, estudiando algunas variables como la estructura de la oferta, el desarrollo económico, entre otros, y validando impactos positivos en la economía de estos países, después de finalizado el conflicto.

Este proceso ha generado diferentes y variadas reacciones, en todos los sectores del país en contextos como el social, económico y político por los grandes impactos que se supone conlleva la firma del acuerdo [4]. Lo anterior hace pertinente analizar estos efectos desde una mirada lo más objetiva posible.

A pesar de que el estudio realizado por [3], muestra en uno de los casos lo que él llama los dividendos de la paz, que se traducen en mayor inversión extranjera, mayor consumo y mayores exportaciones, se hace muy importante, revisar cuales podrían ser los efectos en un sector tan afectado históricamente por la violencia en Colombia, como el sector agrícola y en particular de pequeños productores, con el ánimo de visualizar si en esta instancia se puede augurar el crecimiento económico de un sector productivo trascendental incluso a nivel mundial.

En tal sentido, este documento aborda los agentes que participan en la economía del país y las actividades que desarrollan, así como las interrelaciones que se dan entre ellos; entendiendo que el objeto de cualquier sistema económico es producir bienes y servicios para satisfacer las necesidades de los individuos que lo conforman.

Analizar el sistema económico consiste en observar el comportamiento de tres tipos de actividades amplias y específicas que son:

- **Producción:** Actividad realizada para generar los bienes y servicios que satisfacen las necesidades de los individuos.
- **Consumo:** Utilización de los bienes y servicios en la satisfacción de las necesidades de los individuos.
- **Inversión:** Es la compra de bienes de capital por parte de las empresas con el fin de aumentar su potencial productivo, más la acumulación de inventario.

A ciencia cierta, una de las actividades de gran importancia en un sistema económico es la producción, sin embargo la economía del país considera tres importantes sectores, que los identifica como el primero, secundario y terciario, siendo el sector de los pequeños productores agrícolas clasificado en el sector primario, pues sus

actividades están fundamentadas en la transformación y/o explotación de recursos naturales, por lo que además de interesante se hace pertinente el análisis de este objeto de estudio en torno al desempeño del sistema económico.

Entendiendo la importancia del sector agrícola en Colombia, donde los pequeños productores han sido grandes damnificados del conflicto, los impactos económicos que tiene la violencia para un país, los niveles de pobreza y carencia de infraestructura en el sector rural, conociendo algunos estudios sobre los dividendos de un acuerdo de paz y además la necesidad del mundo de atender la seguridad alimentaria, se trata en este documento de estudiar desde un enfoque sistémico estas relaciones, y poder visualizar posibles comportamientos futuros de la economía en este sector. Para atender a esta intención se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el impacto de la firma del tratado de paz en el sector de los pequeños productores agrícolas en términos de algunas variables del sistema económico colombiano?

III. DESARROLLO

Para responder a la pregunta anteriormente planteada con el propósito de estimar el impacto de la firma del acuerdo de paz en las actividades productivas del sector de los pequeños productores, primeramente se caracterizan y se definen los elementos o variables del sistema y sus respectivas relaciones, que permiten conocer su comportamiento actual mediante la simulación con el uso del programa Vensim, de tal forma que se puedan identificar posibles comportamientos futuros del sistema con la intervención sobre algunas de las variables y las relaciones entre ellas.

Se obtuvieron opiniones de expertos en temas económicos, y con base en la literatura, con respecto al comportamiento de algunas variables del sistema económico, en el caso de un escenario de paz definitiva con el grupo de las FARC para identificar y definir las principales variables que influyen de manera directa en el sector agrícola de pequeños productores.

Las variables identificadas se relacionan a continuación:

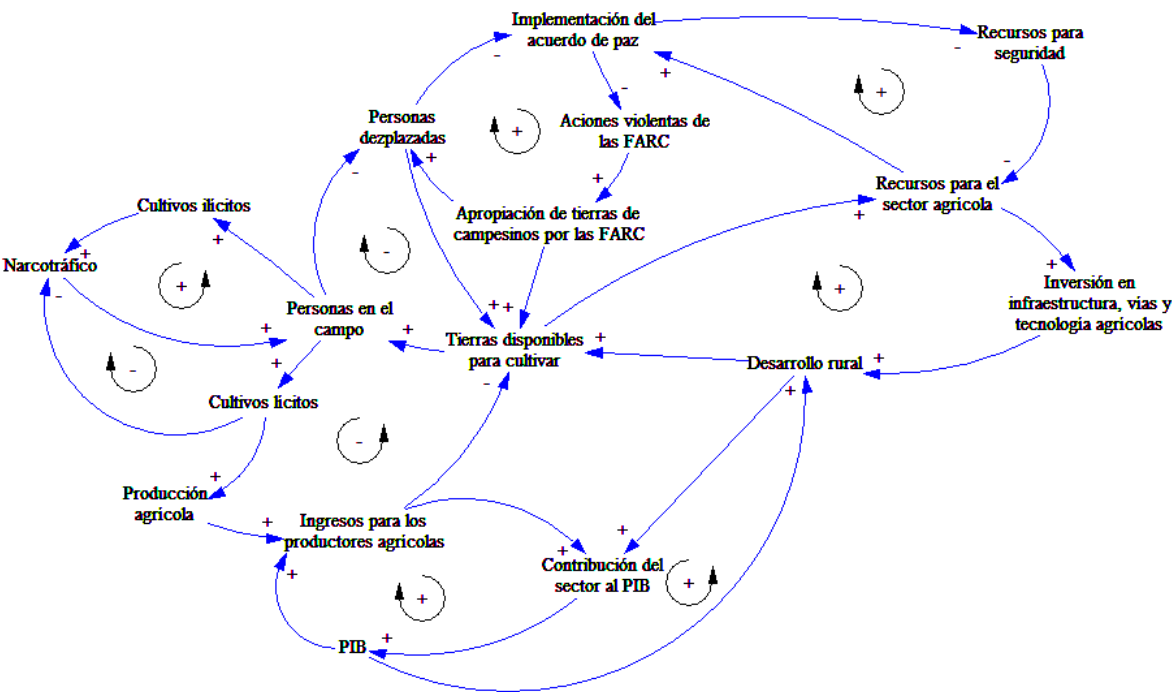
Tabla 1. Principales Variables influyentes en el sector agrícola.

Número de variables	Variables Influyentes
1	Inversión Pública
2	Infraestructura
3	Vial
4	Tecnológica
5	Restitución de tierras
6	PIB
7	Cultivos lícitos e ilícitos
8	Producción agrícola
9	Ventas nacionales
10	Exportaciones
11	Desarrollo rural

Fuente: Elaboración propia.

Con base en estas variables se realiza la representación del sistema con el uso de un diagrama causal donde se identifican las relaciones entre las variables. Ver Gráfica 1

Gráfica 1. Modelo causal.



Fuente: Elaboración propia.

El modelo Causal, en un panorama general, indica que la efectividad en la implementación del acuerdo de paz, tiene un efecto directo en el incremento del Producto Interno Bruto (PIB) lo cual va a afectar positivamente la economía del país. De la misma forma, la firma de la acuerdo de paz implica una reducción de las acciones violentas por parte de las FARC gracias al proceso de desmovilización y entrega de las armas, y a su reintegración a la sociedad. De la misma forma también se espera la devolución de las tierras abandonadas por los campesinos y se fortalezca el programa de restitución de tierras, lo que en conjunto propicia una reducción importante de la apropiación de las tierras que pertenecen a los campesinos, permitiendo que el número de personas desplazadas disminuya y las que fueron desplazadas de su lugar de origen vuelvan y adquieran de nuevo las tierras que alguna vez les fue arrebatada. Lo anterior debe traducirse en mayores cultivos lícitos no solo de corto plazo si no también de largo plazo.

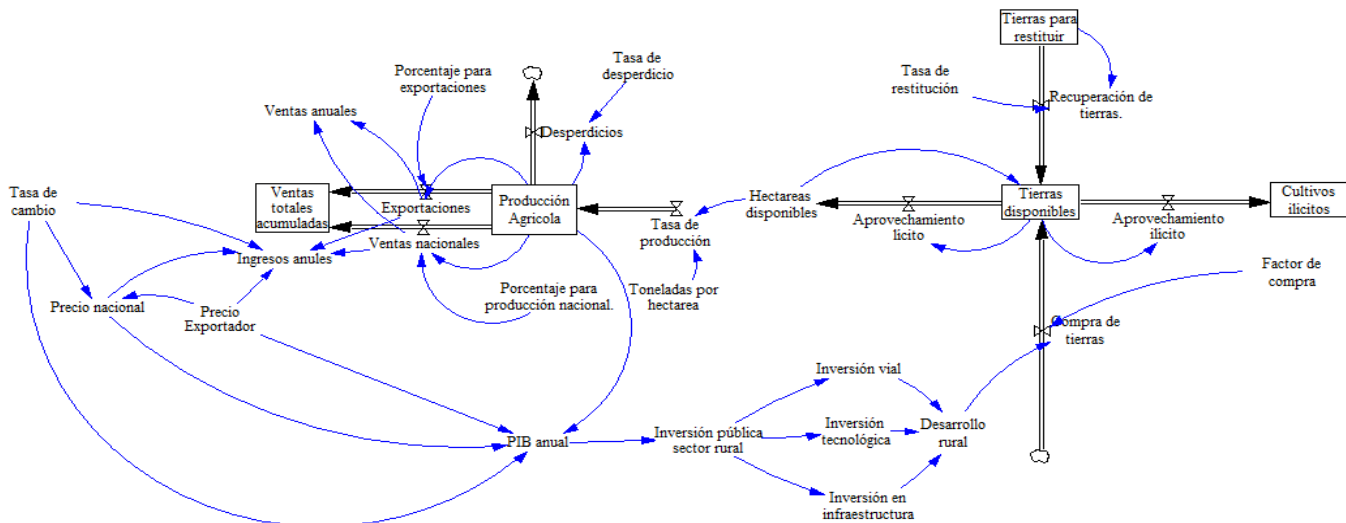
Por otra parte, es necesario mencionar que, al haber menor cantidad de desplazados y mayor cantidad de tierras disponibles, es posible que algunas personas se dediquen a realizar cultivos ilícitos que haga que se incremente el narcotráfico, esto se considera teniendo en cuenta que las FARC no es el único grupo armado en Colombia que se dedica a los cultivos ilícitos como mecanismo de financiación.

De la misma manera, la firma del acuerdo de paz implica una liberación de recursos fiscales de gasto público en seguridad, que pueden ser utilizados para una mayor inversión para el sector agrícola que se puede desagregar en inversión en infraestructura productiva, inversión vial e inversión tecnológica, todo esto contribuirá a generar mayor desarrollo rural, lo que a su vez permitirá generar un mayor aprovechamiento y generar más disponibilidad de tierras que pueden ser utilizadas para cultivar; también puede contribuir a la generación de empleo disminuyendo así la pobreza lo que permite generar mayor bienestar para los campesinos.

En torno al sistema productivo en sí, al haber mayor cantidad de cultivos lícitos se puede presentar un incremento de cosechas a largo plazo lo cual aumentaría la producción agrícola que reportará mayor cantidad de productos para venderlos tanto a nivel nacional como a nivel internacional, contribuyendo de esta manera a producir mayores ingresos que a su vez representa un incremento en la economía del país reflejando un aumento en el PIB.

Una vez definidas las relaciones entre las variables en el modelo causal se hace la representación del sistema con el uso del programa de simulación Vensim. En la Gráfica 2 se muestra el diagrama de Forrester correspondiente.

Gráfica 2. Diagrama de Forrester



Fuente: Elaboración propia.

Después de haber establecido el diagrama de Forrester que representa el sistema, se procede a programar las ecuaciones que definen el comportamiento de cada una de las variables establecidas. Algunos supuestos para el desarrollo del modelo, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Supuestos del modelo.

Variable	Tipo	Supuesto
Tasa de restitución	Auxiliar	0,20% anual
Compra de tierras	Flujo	40% de la inversión en desarrollo

Fuente: Elaboración propia.

Para las demás variables se define el comportamiento según datos establecidos en otros análisis literarios [6-12], a continuación, en la Tabla 3 se muestran las definiciones para algunas de las variables del modelo

Tabla 3. Ecuaciones del modelo.

Variable	Tipo	Ecuación
Inversión pública sector ruralA	uxiliar	PIB anual * 3,5%
Inversión en infraestructura	Auxiliar	Inversión pública sector rural * 3,2%
Inversión tecnológicaA	uxiliar	Inversión pública sector rural * 0,0385%
Inversión vial	Auxiliar	Inversión pública sector rural * 0,2613%
Aprovechamiento ilícitoF	lujo	Tierras disponibles*0,1
Aprovechamiento lícito	FlujoT	tierras disponibles*0,9
Recuperación de tierrasF	lujo	Tasa de restitución* Tierras para restituir
Compra de tierrasF	lujo	IF THEN ELSE(Desarrollo rural>0, Factor de compra*Desarrollo rural*0,4, 0)
Tasa de producciónF	lujo	IF THEN ELSE(Hectáreas disponibles>0, Hectáreas disponibles* Toneladas por hectárea, 0)
Ventas nacionalesF	lujo	Producción Agrícola*Porcentaje para producción nacional.
ExportacionesF	lujo	Producción Agrícola*Porcentaje para exportaciones
Tasa de desperdicioP	arámetro	34%
Porcentaje para producción nacional	Parámetro	5%
Porcentaje para exportacionesP	arámetro	13%

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para las variables de tasa de cambio y toneladas por hectárea se hace un análisis de datos con el fin de obtener su comportamiento, dichos datos se obtuvieron de [5]. A continuación en la Tabla 4 se muestran los parámetros de programación para estas variables.

Tabla 4. Distribuciones normales del modelo.

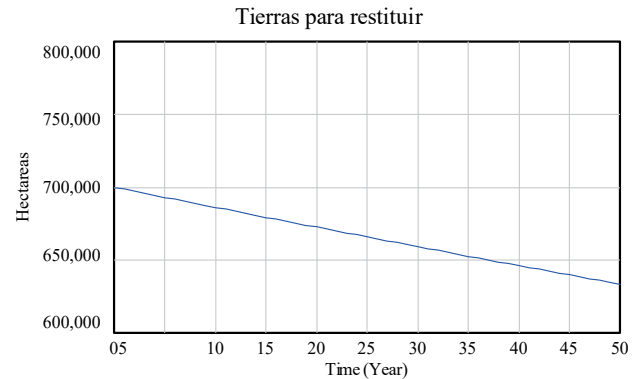
Variable	Tipo	Ecuación
Precio exportador	Auxiliar	RANDOMNORMAL(658, 1675, 1097, 384, 0)
Tasa de cambio	Auxiliar	RANDOMNORMAL(1797, 3142, 2181, 406, 0)
Toneladas por hectárea	Auxiliar	RANDOMNORMAL(6.14, 6.42, 6.26, 0.08, 0)

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la programación de las variables de acuerdo a las ecuaciones mostradas, se obtiene la simulación del sistema que muestra los siguientes comportamientos principales:

Tierras: En la gráfica 3 se observa que la cantidad de tierras para restituir va disminuyendo con el transcurso del tiempo en forma lenta y al cabo de 50 años no se ha restituido ni la tercera parte de tierras disponibles para su restitución.

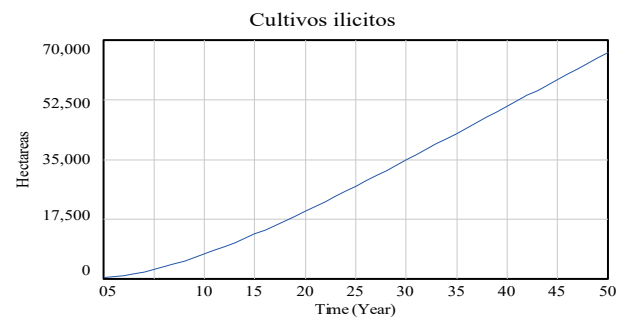
Gráfica 3. Tierras para restituir



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la gráfica 4 se muestra un aumento significativo a través del tiempo en la cantidad de los cultivos ilícitos dado que la mayor disponibilidad de tierras hace que más grupos se vean seducidos por el negocio ilícito del narcotráfico en Colombia.

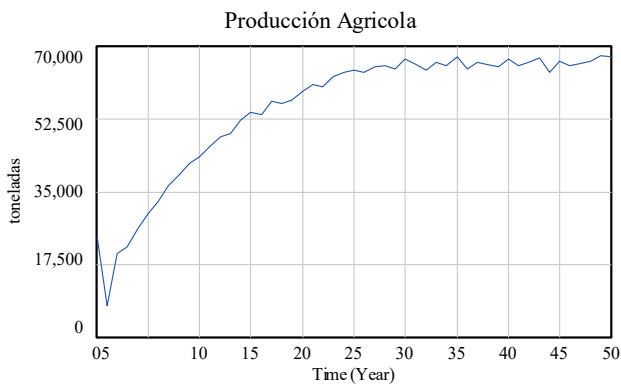
Gráfica 4. Cultivos ilícitos



Fuente: Elaboración propia.

Producción: Por su parte, en la gráfica 5 se muestra para la producción en toneladas del sector agrícola colombiano, un comportamiento creciente desde el segundo año hasta el año número veinte y de allí en adelante tiende a tener un comportamiento estable cerca de las 70.000 toneladas por año.

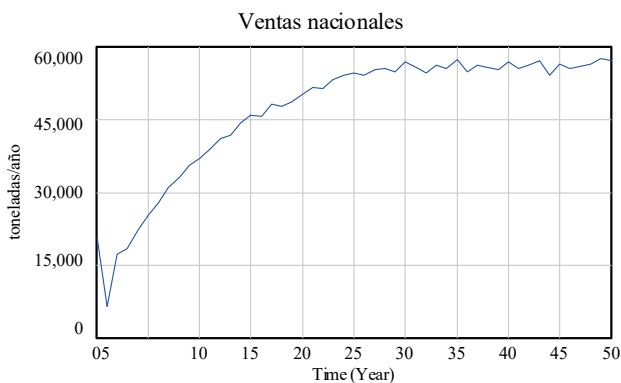
Gráfica 5. Producción agrícola



Fuente: Elaboración propia.

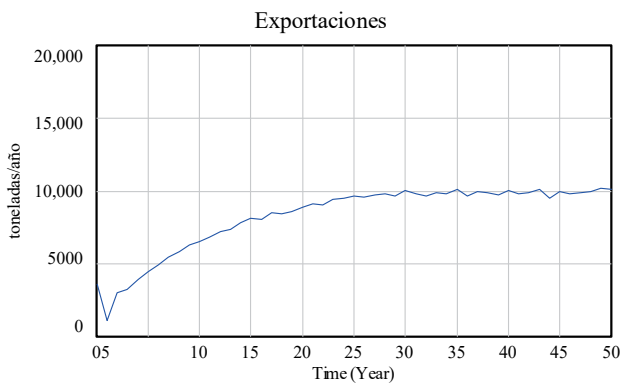
Ventas: El proceso de ventas de la producción de la actividad agrícola, se puede dar en el mercado nacional y en el mercado internacional, el comportamiento de dichas variables se muestra creciente hasta el periodo 20 y de allí en adelante tiende a estabilizarse como se observa respectivamente en las gráficas 6 y 7.

Gráfica 6. Ventas nacionales



Fuente: Elaboración propia.

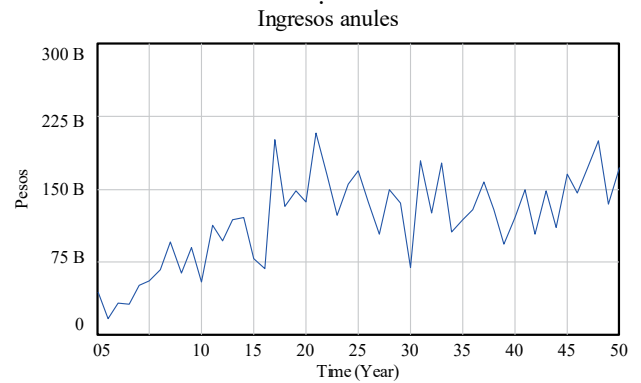
Gráfica 7. Exportaciones.



Fuente: Elaboración propia.

Ingresos: El comportamiento general de los ingresos pese a que presenta una tendencia creciente al paso del tiempo, es bastante variable dado que pese a que cada vez hay más producción, la variación en tasas y precios causa dichas fluctuaciones. La grafica 8 muestra su comportamiento.

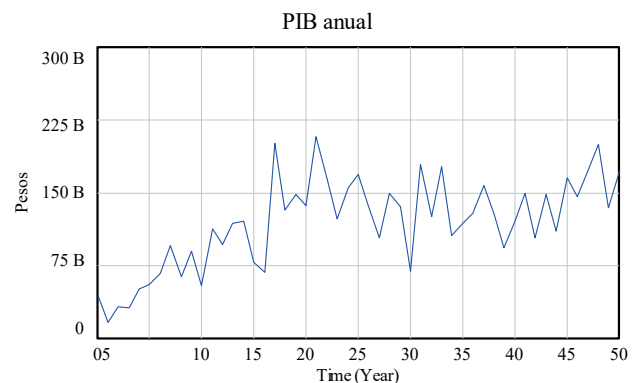
Gráfica 8. Ingresos Anuales



Fuente: Elaboración propia.

PIB anual: Uno de los resultados más significativos de este modelo es el impacto positivo en el PIB dado el movimiento de productos y los efectos económicos crecientes que generan un crecimiento económico del país bajo los supuestos establecidos para el modelo. El comportamiento de esta variable se observa en la gráfica 9.

Gráfica 9 PIB Anual



Fuente: Elaboración propia.

IV. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Para llevar a cabo este análisis se plantean 2 escenarios, uno optimista y otro pesimista en los cuales se modifican algunos parámetros para ver el comportamiento del sistema. Las modificaciones en los escenarios se muestran respectivamente en las tablas 5.

Tabla 5. Escenarios.

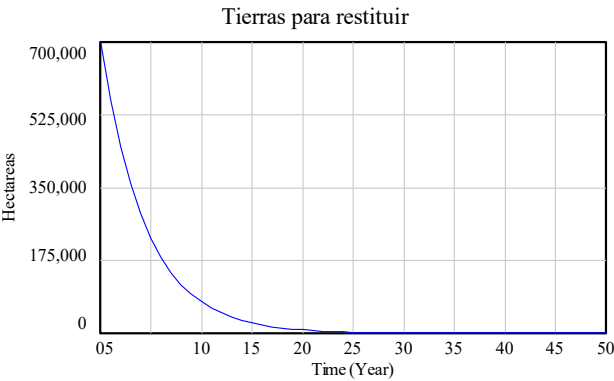
Escenario	Variable	Tipo	Supuesto
Optimista	Tasa de restitución	Auxiliar	20% anual
	Compra de tierras	Flujo	50% de la inversión en desarrollo
Pesimista	Tasa de restitución	Auxiliar	0,02% anual
	Compra de tierras	Flujo	10% de la inversión en desarrollo

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las variaciones se pudo obtener en forma general que el comportamiento del sistema es bastante sensible a las tasa de restitución y la compra de tierras. A continuación se observan las gráficas obtenidas:

Tierras: En el escenario optimista (Gráfica 10) las tierras disponibles para la restitución se agotarían de forma rápida cada que en los primeros 20 años mientras que en el escenario pesimista (Gráfica 11) al pasar 50 años no se habría restituido ni siquiera el 2% del disponible.

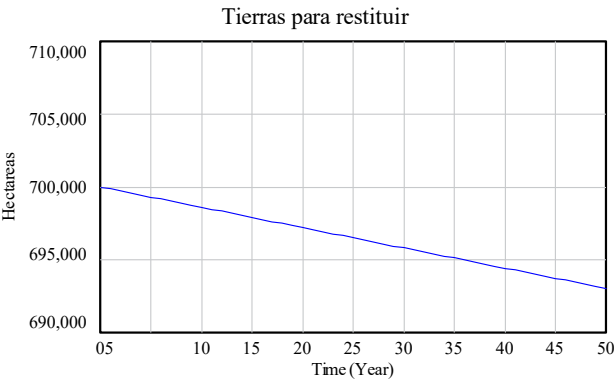
Gráfica 10. Tierras para restituir escenario optimista



Tierras para restituir : Optimista

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11. Tierras para restituir escenario pesimista

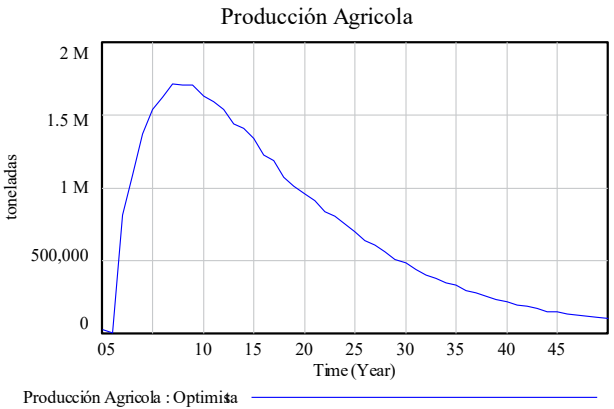


Tierras para restituir : Pesimista

Fuente: Elaboración propia.

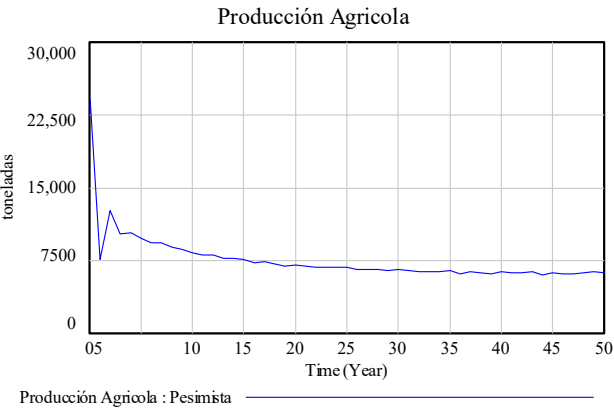
Producción: En términos productivos el escenario optimista (Gráfica 12) presenta un comportamiento creciente para los primeros 10 periodos, pero de allí en adelante comienza un descenso hasta llegar a estabilizarse en niveles más altos que los de la actualidad; por su parte el escenario pesimista (Gráfica 13), presenta niveles de producción casi estables a lo largo del tiempo pero muy por debajo del nivel actual de producción en el sector.

Gráfica 12. Producción escenario optimista



Fuente: Elaboración propia.

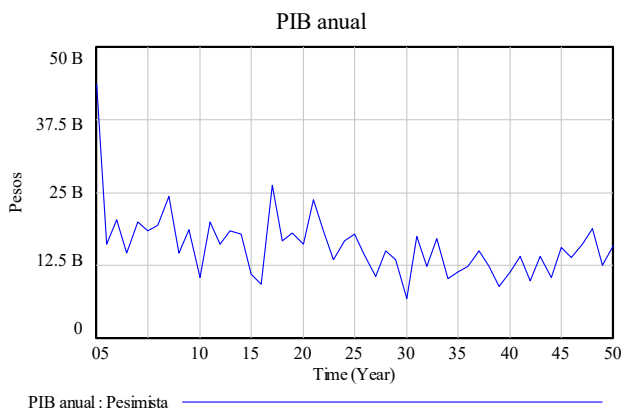
Gráfica 13. Producción escenario pesimista



Fuente: Elaboración propia.

PIB anual: La variable de mayor importancia en este sistema al realizar el análisis por escenarios muestra en el escenario optimista (Gráfica 14), un impacto económico significativo durante los primeros 20 años, lo que puede significar un importante desarrollo del sector. Por su parte, en el escenario pesimista (Gráfica 15), se presenta un impacto económico estable durante los 50 años pero en cantidades más bajas que las de la actualidad.

Gráfica 14. PIB anual escenario optimista



Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

- La firma e implementación del acuerdo de paz requieren de análisis riguroso desde la academia de tal manera que se brinden herramientas acertadas para la toma de decisiones durante todo el proceso.
- El análisis por escenarios muestra lo sensible que es el sistema con la variación de algunas variables, las cuales se traducen en decisiones críticas que se deben tener en cuenta en la implementación real del acuerdo de paz.
- El desarrollo efectivo de programas orientados a fortalecer las unidades productivas en el campo, se vuelve de vital importancia para que las personas desmovilizadas y las personas que recuperen sus predios, no vean como alternativa de sustento digno, el dedicarse a los cultivos ilícitos, sino más bien, que el uso de la tierra en actividades agrícolas lícitas se fortalezca.
- El acuerdo de paz firmado entre el gobierno y las FRAC, impactará de manera positiva al sector agrícola, dado que se espera un mayor PIB y aumento de producción agrícola por la mayor disponibilidad de tierras.
- Se deben establecer mecanismos que permitan mayor apertura de mercado, para la comercialización de productos que redunden en mayores ingresos por las actividades agrícolas, para evitar su disminución en el mediano plazo, por situaciones adversas de mercado.
- Se evidencia un factor adverso con el respecto al uso de la tierra para cultivos ilícitos, dado que las cifras han incrementado en el último tiempo, lo que refleja poca disminución en esta actividad, considerando además que las FARC no son el único grupo armado que opera en Colombia.

- La entrega o restitución de tierra podría beneficiar a grupos armados existentes o nuevos grupos o carteles que busquen medios de financiación, lo que se refleja en un aumento significativo en los cultivos ilícitos tanto para el escenario optimista y pesimista evaluado.

VI. Bibliografía

- [1] M. Palacios, «Violencia y proceso de paz en Colombia.,» Revista Sociedad y Economía, 2001.
- [2] S. Castro Gonzales, «Análisis de la estrategia de construcción de paz y desarrollo local de la ONG Vallenpaz, a partir de las acciones de apoyo a pequeños agricultores en Palmira-Valle (2001-2010).,» Palmira, 2010.
- [3] J. Miranda Pinedo, «El proceso de paz con las FARC-EP y su importancia en la economía de Colombia,» Universidad militar nueva granada, 2017.
- [4] E. Calderon, «La relevancia del proceso de paz colombiano para américa del sur.Un análisis a la luz de la historia reciente,» Estudios INTERNACIONAIS, pp. 233-254, 2014.
- [5] Sociedadde agricultores de Colombia, «SAC,» Sociedadde agricultores de Colombia, 28 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/estadisticas.html>. [Último acceso: Junio 2016].
- [6] Camino a la paz, «Lo que vale la paz,» Noviembre 2012. [En línea]. [Último acceso: Marzo 2016].
- [7] J. León, «La silla vacia,» 25 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://lasillavacia.com/historia/asi-transformarian-colombia-los-acuerdos-logrados-con-las-farc-48663>. [Último acceso: Abril 2016].
- [8] Telesur- la silla vacia, «Telesur,» 25 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.telesurtv.net/news/Conozca-el-impacto-de-los-acuerdos-del-proceso-de-paz-en-Colombia-20140925-0060.html>. [Último acceso: Abril 2016].
- [9] R. J. Gaviria, «EL ESPECTADOR,» 2 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.elespectador.com/noticias/economia/2016-ano-revolucionar-el-agro-articulo-608572>. [Último acceso: Abril 2016].
- [10] Economía y negocios, «EL TIEMPO,» 9 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.>

eltiempo.com/economia/sectores/impacto-del-proceso-de-paz-en-la-economia-colombiana/16453742. [Último acceso: abril 2016].

[11] CERAC, «Centro de recursos para el análisis de conflictos,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/Paz/undp-co-ganapaz-2014.pdf>. [Último acceso: abril 2016].

[12] Redacción de El País, «EL PAIS,» 24 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.elpais.com.co/el-pais/economia/noticias/paz-impulsaria-agricultura-y-inversion-colombia>. [Último acceso: Abril 2016].

Impact of taxes on ex-dividend strategy

Byder James¹ & Rodríguez Leonardo²

Abstract - We model the performance of the ex-dividend investment strategy with respect to changes in tax policies. We employ a continuous simulation model that uses System Dynamics methodology. We find that there are tax policies that have a smaller impact on the creation of market deficiencies. In addition, we simulate the behavior of tax policies that succeed in eliminating the effects of creating market failures that these policies can produce separately..

Keywords - Ex-dividend, Capital market, System Dynamics, Impact of taxes on capital markets.

I. INTRODUCTION

One strategy that investors have exploited in capital markets is the ex-dividend strategy. This consists of buying a stock on the trading day immediately prior to the ex-dividend date and thus acquiring the right to receive the dividend, then proceeds to sell the stock on the day of the ex-dividend. Extra yield is obtained if the purchase price of the share on the day before the ex-dividend is less than the sum of the selling price of the share on the ex-dividend day and the value of the dividend (Elton et al., 1984).

To understand this phenomenon and to review the literature it can be found that ex-dividend yields are not fully explained by transaction costs or tax effects (Arroyave & Agudelo, 2012). On the other hand, changes in a country's tax reforms do not greatly affect the incentives of corporate traders to trade around the ex-day dividend (Michaely, 1991).

According to Miller & Modigliani (1961), shares with higher dividend yields and lower dividend tax rates attract investors, which means that high yield stocks have higher rates of price decline. The objective of this study is to understand the behavior of the capital market (isolated under assumptions explained later) in the face of changes in tax policies. To carry out the above objective, the methodology of System Dynamics and continuous simulation will be used.

II. METHODOLOGY

The methodology is based on the dynamic modeling process (Sterman, 2000). This will be done in four steps:

- 1) Problem approach and Dynamic Hypothesis, 2) Assumptions,
- 3) Simulation and 4) Policies and scenarios.

Problem approach and Dynamic Hypothesis

The ex-dividend strategy is affected by tax reforms or changes in tax rates the impact of changing these policies on the dividend Investment (Elton, Gruber & Blake, 2005).

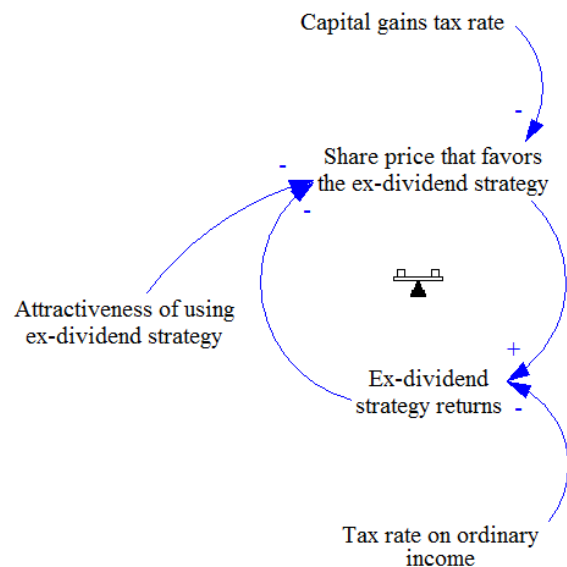


Figure 1. Dynamic Hypothesis

Therefore, in Figure 1 we can observe that the greater share purchase at a *Share price favors the ex-dividend strategy* generates greater *Ex-dividend strategy returns*. If we leave the *Attractiveness of using ex-dividend strategy* constant can be considered under laws of supply and demand that the greater amount of *Ex-dividend strategy returns*, this will produce a decrease in the *Share price that favors the ex-dividend strategy*. In addition, the *Share price favors the ex-dividend strategy* is adversely affected with respect to the variable *Capital gains tax rate*, in the same way the *Ex-dividend strategy returns* is affected with respect to the *Tax rate on ordinary income*.

Based on the above, we argue that the *Capital gains tax rate* and the *Tax rate on ordinary income* affect the behavior of the ex-dividend strategy in the capital markets.

¹ MSc. In Economics and Finance, University of York, England, jbyder@eafit.edu.co

² Student Master of Economics EAFIT University and Industrial Engineer University ICESI, lrodriguep@eafit.edu.co

Assumptions

- The price of the stock is explained by fundamentals, ie the market is highly efficient.
- The price disturbance is white noise of zero mean u and variance one.
- The **Attraction rate** is constant and equal for **Attractiveness of purchase** and **Sales Attraction**
- Attractiveness of purchase** increases the demand for the ex-dividend strategy.
- The **Sales Attraction** increases the Supply of the sale of the stock.
- Demand and supply directly affect the share price.
- The value of the Dividend is constant and paid at the frequency of 30 days.

Simulación

The simulation period is for five months (150 days), the payment of the dividend is made monthly (30 days).

To calculate the return that the ex-dividend strategy brings, the formula to calculate the dividend difference is used (Elton, Gruber and Blake, 2005 & Michaely, 1991). It can be expressed as follows:

$$P_b^*(1-t_g) = P_x^*(1-t_g) + D(1-t_o) \text{ Fomule (1)}$$

This equation describes to the left side the purchase of the stock the day before the announcement of the ex-dividend and the right side

the value obtained by the sale and the collection of the dividend, both equations are affected by the respective tax rates.

Name of the variables:

P_c = the cost of a share

P_b = the price of a share the day before the stock goes ex- dividend

P_x = the price of the stock the day the stock goes ex- dividend

t_g = the capital gains tax rate

t_o = the tax rate on ordinary income D = dividen

Error = White noise of zero mean and variance one

D payment = dividend payment

Policies and Scenarios

- Whitout tax policy:** The market has no capital taxes or utility taxes
- With t_g :** In the market there is a tax rate on capital gains of 30%
- With t_o :** In the market there is a tax rate on ordinary income of 30%
- With t_g and t_o :** In the market there is a tax rate on capital gains and a tax rate on ordinary income

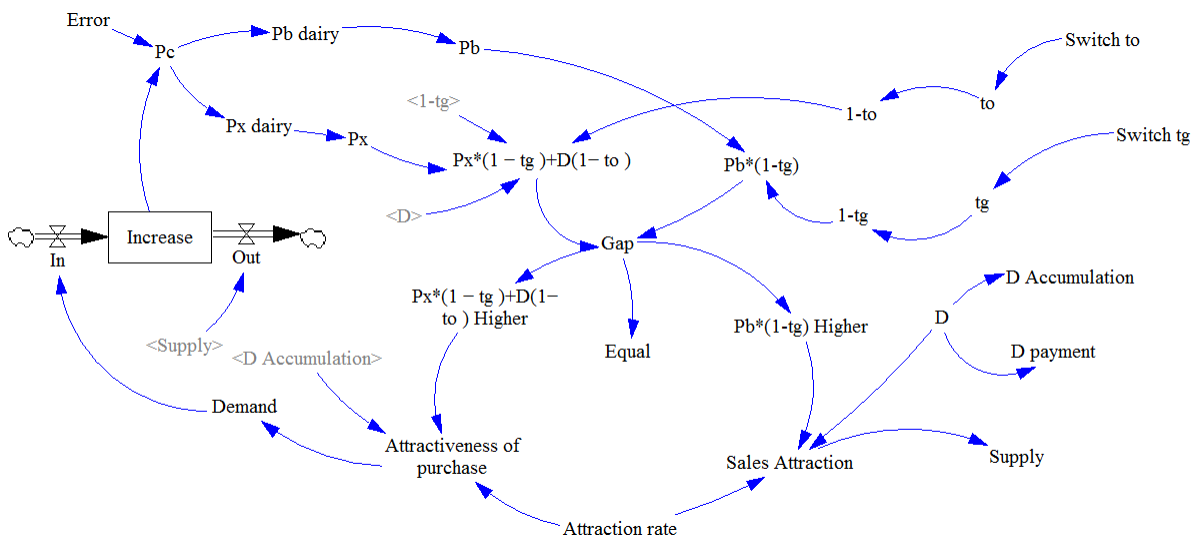


Figure 2. Simulation model

III. RESULTS

Next, the Behavior of the share price with respect to the change in policies is presented in Figure 3.

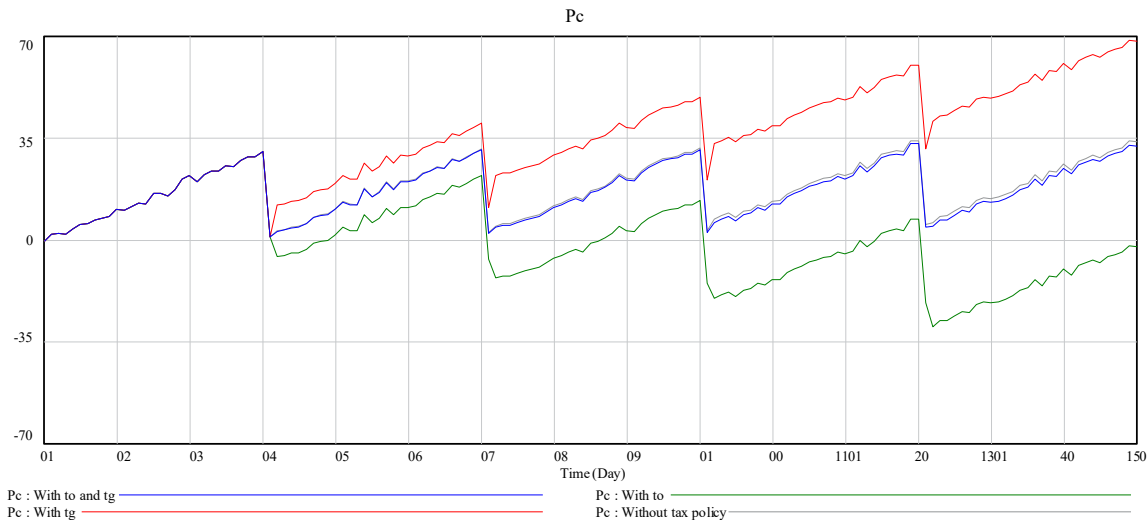


Figure 3. Behavior of the share price with respect to the change in policies

Análisis de resultados:

- i. **Whitout tax policy:** It can be seen that the behavior of the share price is explained by its increase in accumulation of dividends and their respective payment, in this case the people who invest in this strategy get the same performance as the people who buy the share on the day of the ex - dividend.
- i. **With tg:** In this scenario it is more beneficial to expect the dividend payment of the stock than to apply the ex-dividend strategy. The stock offer decreases so the stock price increases.
- i. **With to:** In this scenario, the dividend tax does not bring profit to apply the ex- dividend strategy, so the demand for the ex-dividend strategy decreases, as a result the share price decreases.
- i. **With tg and to:** This scenario reflects what the literature shows (Elton, Gruber and Blake, 2005 & Michaely, 1991) because taxes can create deficiencies in the markets, but one can look for tax policies that create a smaller deficiency in the capital markets. In this model, when the two tax rates are equal, their price increase effect is counteracted by the effects of falling prices produced by supply and demand.

IV. CONCLUSIONS

An indicator of market failures is abnormal returns (not explained by fundamentals). The creation of these market failures can be

affected by capital market tax policies. We find that there are tax policies that have a smaller impact on the creation of market deficiencies. In addition, we simulate the behavior of tax policies that succeed in eliminating the effects of creating market failures that these policies can produce separately.

V. REFERENCES

- Elton, E. J., Gruber, M. J., & Rentzler, J. (1984). The Ex-Dividend Day Behavior of Stock Prices; A Re-Examination of the Clientele Effect: A Comment. *The Journal of Finance*, 39(2), 551- 556.
- Berumen, S. A., Mafimisebi, T. E., Muñoz, D. F., Palacios, A., & de Lascrain, M. (2012). Rendimiento ex-dividendo como indicador de eficiencia en un mercado emergente: caso colombiano 1999-2007q.
- Michaely, R. (1991). Ex-dividend day stock price behavior: the case of the 1986 Tax Reform Act. *The Journal of Finance*, 46(3), 845-859.
- Miller, M. H., & Modigliani, F. (1961). Dividend policy, growth, and the valuation of shares. *the Journal of Business*, 34(4), 411-433.
- Sterman, J. D. J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world* (No. HD30. 2 S7835 2000).

Elton, E. J., Gruber, M. J., & Blake, C. R. (2005). Marginal stockholder tax effects and ex-dividend day price behavior: Evidence from taxable versus nontaxable closed-end funds. *The Review of Economics and Statistics*, 87(3), 579-586.

Michaely, R. (1991). Ex-dividend day stock price behavior: the case of the 1986 Tax Reform Act. *The Journal of Finance*, 46(3), 845-859.

Dynamic Behavior Analysis Of The Gross Domestic Product In A City In The Center Of The Valle Del Cauca.

Estudiantes Ingeniería Industrial - Uniminuto Centro Regional Buga
Reinel Murillo, Margy Rojas, Julián Pantoja and Jennifer Henao.

Resumen- El PIB, es un indicador de desempeño económico, que calcula el valor total de los bienes y servicios producidos dentro de una región o país en un tiempo determinado. Este artículo tiene como finalidad analizar el comportamiento del PIB como indicador del sistema económico en una ciudad del centro del Valle del Cauca, estudiando las variables que afectan su desempeño. Para su análisis se utiliza la dinámica de sistemas, identificando las diferentes variables que afectan un sistema económico, se elabora un diagrama causal, posteriormente se realiza el diagrama de forrester y finalmente se simula el comportamiento del sistema en un periodo de tiempo determinado con la ayuda del software Vensim, se hace la interpretación de los resultados y se concluye sobre el desempeño futuro del sistema.

Palabras clave- Producto interno bruto, relaciones macroeconómicas, variables, demanda interna, demanda externa, inflación, deflación, empleo.

Abstract- GDP is an indicator of economic performance, which calculates the total value of goods and services produced within a region or country in a given time. This article aims to analyze the behavior of GDP as an indicator of the economic system in a city in the center of Valle del Cauca, studying the variables that affect its performance. For its analysis the system dynamics is used, identifying the different variables that affect an economic system, a causal diagram is elaborated, the forrester diagram is carried out and finally the system behavior is simulated in a determined period of time with the help Of Vensim software, the interpretation of the results is done and the future performance of the system is concluded.

Keywords- Gross domestic product, macroeconomic relations, variables, internal demand, external demand, inflation, deflation, employment.

I. INTRODUCCIÓN

La economía se reconoce como la ciencia que permite administrar los recursos escasos dentro de una sociedad (anonimo, 2017)[1], en tal sentido en las organizaciones sociales la administración de los recursos se vuelve un elemento de gran interés entendiendo su gran impacto en el desarrollo económico. Sin embargo, la comprensión de la económica implica su división en el aspecto macro y micro, la primera preocupada por el desempeño de variables agregadas y la segunda por el desempeño de los agentes económicos individuales.

La macroeconomía considera algunas variables de estudio tales como el pleno empleo, la inflación y el producto interno bruto (PIB), todas ellas como elementos vitales dentro el sano desarrollo de un sistema económico. El pleno empleo indica la capacidad que tiene un estado de ofrecer a todas sus habitantes posibilidades de empleabilidad, y se mide con la tasa de desempleo. La inflación indica la estabilidad de los precios en el mercado, es decir, la capacidad adquisitiva ganada o perdida por los habitantes de un país. Por último, el PIB se refiere a la valoración de los bienes y servicios producidos por un país en un periodo de tiempo determinado (anonimo., 2017)[2]. Una manera de abordar un estudio macroeconómico, es enfocándose las variables definidas anteriormente, que para este caso se referirá al PIB, el cual será abordado desde la dinámica de sistemas, estableciendo las interrelaciones entre los bienes producidos, su valoración y la inversión del país, como algunos de los elementos que pueden afectar este indicador.

En este artículo, se presentarán algunos elementos conceptuales referentes a los aspectos económicos, la teoría general de sistemas y la dinámica de sistemas, se formulará un caso de estudio referente al desempeño del PIB en una pequeña ciudad colombiana y se establecerá el comportamiento de esta variable en un periodo de tiempo establecido, después de hacer un análisis de consistencia del modelo, con la ayuda de los diagramas causales, los diagramas de forrester y con el uso del software Vensim.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La economía identifica algunas variables macroeconómicas que afectan los resultados futuros de la actividad económica en un país o una región. Frente al entorno competitivo actual, donde se requiere ofrecer condiciones de desarrollo sostenible para las ciudades, a partir de la identificación del comportamiento y las relaciones económicas, con el ánimo de visualizar el futuro del sistema económico, hace relevante comprender como deben desempeñarse algunas variables que permitan proponer estrategias de intervención para lograr su mejor desempeño. Entendiendo el Producto Interno Bruto como una variable que mide el valor de los bienes y servicios producidos en una región, el estudiar cómo se visualiza el desempeño del PIB en una ciudad intermedia del Valle de Cauca en Colombia, que cuenta con una población estimada

en 115.000 habitantes, permite conocer de manera prospectiva, las oportunidades que la ciudad puede ofrecer a sus habitantes en términos de posibilidades de empleo, oferta de productos, oferta de servicios, es decir interpretar el ciclo económico en esta región. El impacto de las decisiones políticas y económicas se traducirán en oportunidades para sus habitantes. Se pretende ofrecer una mirada sistémica de estos posibles impactos apoyados en la identificación de variables macroeconómicas, analizadas en el contexto de esta ciudad, que permitan tomar las mejores decisiones posibles. Para atender esta situación se ha formulado la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el comportamiento del sistema económico en la ciudad de Buga a partir de las interrelaciones de algunas variables macroeconómicas?

III. DESARROLLO

Para responder a la pregunta anteriormente planteada se realizará el diagrama causal representado en la gráfica 1.

Definición de Variables:

PIB: El PIB, es el valor total de los servicios y mercancías pro-

ducidas por parte de las empresas y personas que han trabajado dentro de un determinado territorio en un periodo de tiempo (Benito, F., 2010)

Empleo: Situación en la cual la persona tiene donde laborar y por ende generar ingresos económicos.

Consumo local: Consumo que se produce al interior del país de producto o servicio, está relacionada con el tiempo.

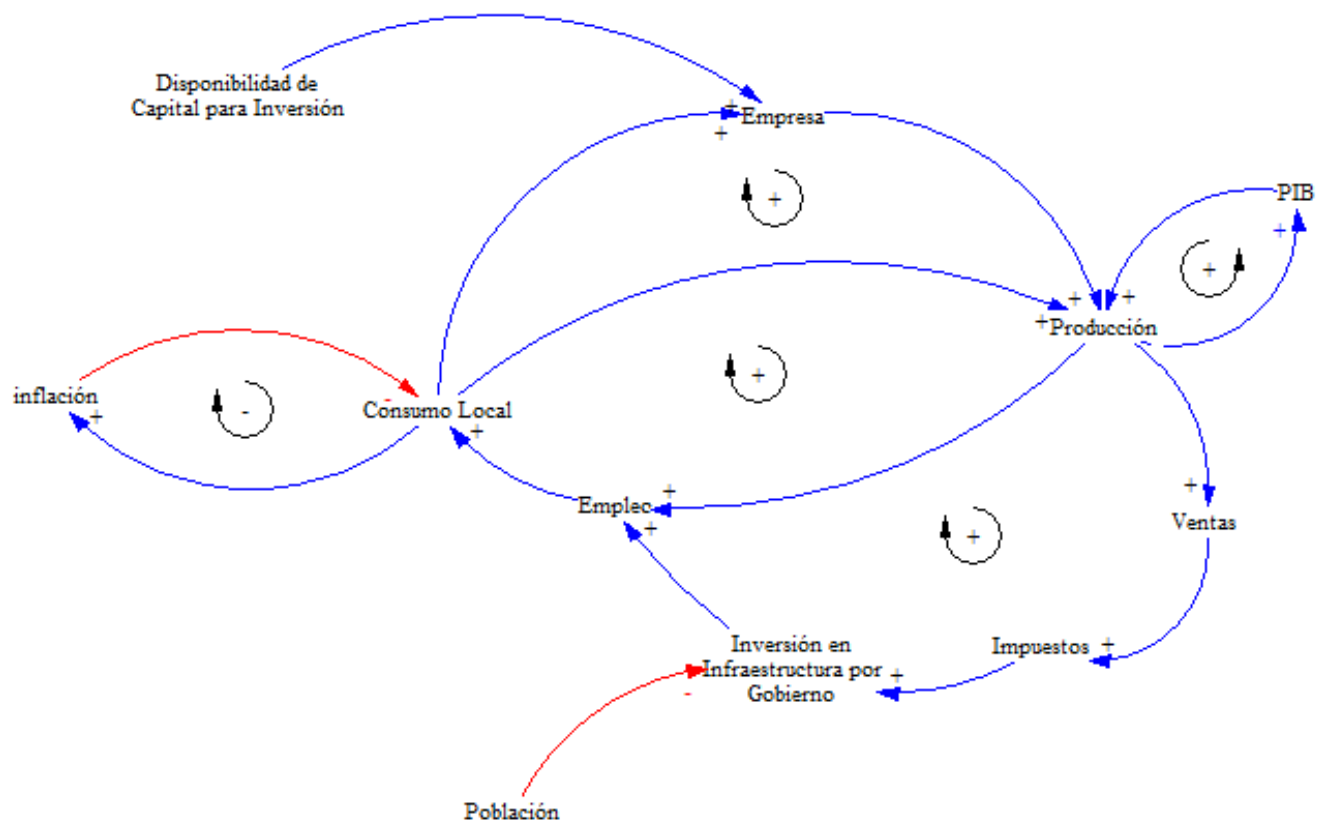
Ventas: es el contrato a través del cual se transfiere una cosa propia a dominio ajeno por el precio pactado.

Inflación: Es el alza de precios con relación al tiempo. **Producción:** Número de productos fabricados **Población:** Número de personas en un área.

Impuestos: Pago obligatorio que hace el pueblo al estado.

Disponibilidad de Capital para invertir: Disponibilidad de personas o empresas en invertir su dinero.

Inversión en infraestructura: inversión que hace el gobierno para la infraestructura del país.

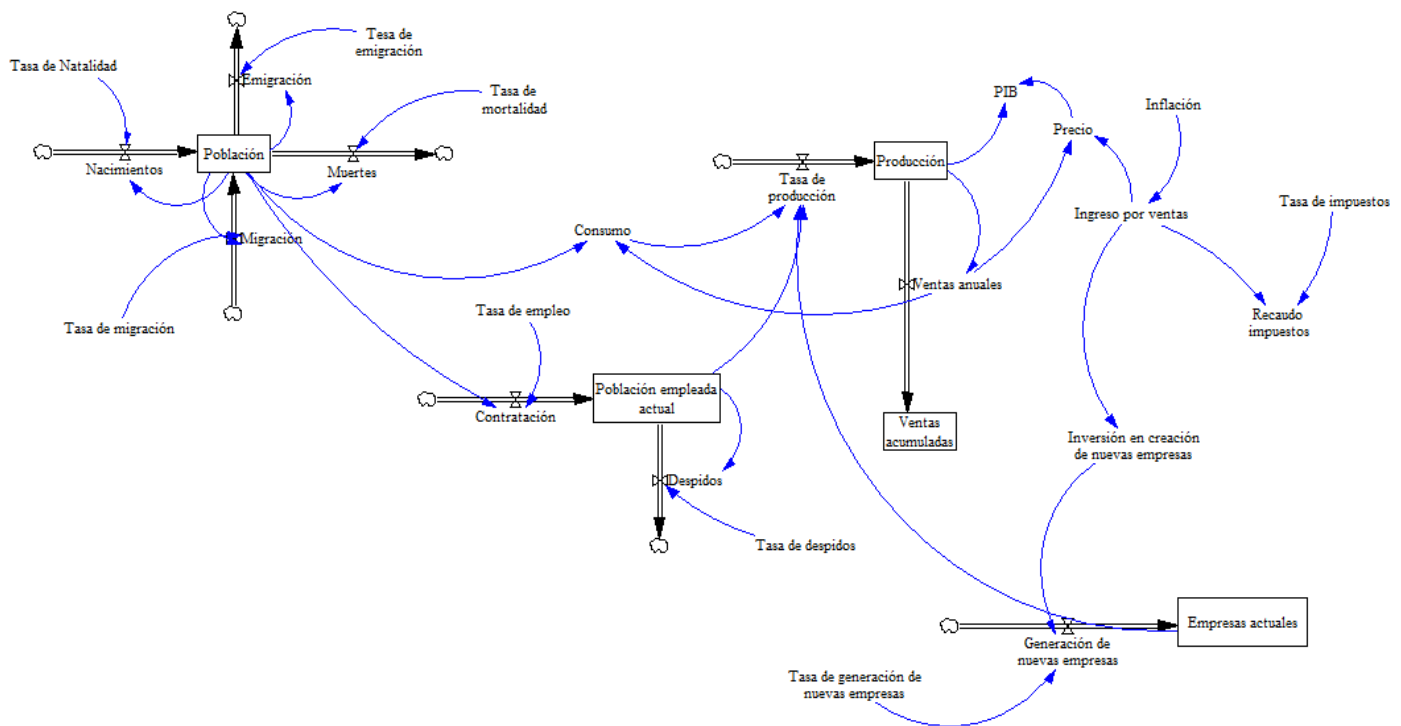


Gráfica 1. Modelo causal.

Descripción del diagrama causal:

El diagrama indica que a partir del comportamiento del consumo local se afecta el nivel de producción, es decir, que, frente a un incremento del nivel de consumo, la producción debe incrementar. Sin embargo, el incremento en el consumo, puede verse afectado por los niveles de inflación, toda vez que si la inflación incrementa los niveles de consumo deben disminuir debido a la pérdida de capacidad adquisitiva, y de la misma forma, si por alguna razón el consumo se incrementa, propiciara el incremento también de los niveles de inflación. El aumento del consumo local, puede propiciar la aparición de nuevas empresas, debido a la necesidad de atender el mayor consumo.

Esta mayor apertura de empresas, se ve afectada por la disponibilidad de capital privado para la inversión, de tal forma que, si existe mayor capital disponible, puede haber un número mayor de apertura de empresas. El mayor número de apertura de empresas propone mayores niveles de producción. La mayor cantidad de producción de bienes y servicios afecta de manera positiva el PIB, que a su vez estimula los mayores niveles de producción. Estos niveles de producción al incrementar, obligan a un mayor requerimiento de personal lo que incrementa el empleo. Es importante precisar que la oferta de empleos se verá afectada negativamente con el comportamiento de la población, es decir que entre mayor sea la población menor será la oferta de empleo.



Gráfica 2. Diagrama de forrester

Descripción del diagrama de forrester:

El diagrama de forrester (Gráfica 2), señala el comportamiento entre diversas variables categorizadas en los siguientes aspectos:

- **variables de nivel:** población, producción, población actual empleada, ventas acumuladas y empresas actuales.
- **Variables auxiliares:** Consumo, inversión en creación de nuevas empresas, recaudo de impuestos, ingresos por ventas, inflación, precio y PIB.
- **Variables de flujo:** nacimientos, muertes, migraciones, emigraciones, contrataciones, despidos, tasa de producción ventas anuales y generación de nuevas empresas.

- **Parámetros:** tasa de nacimiento, tasa de mortalidad, tasa de migraciones, tasa de emigraciones, tasa de empleo, tasa de despido, tasa de impuesto y tasa de generación de nuevas empresas.

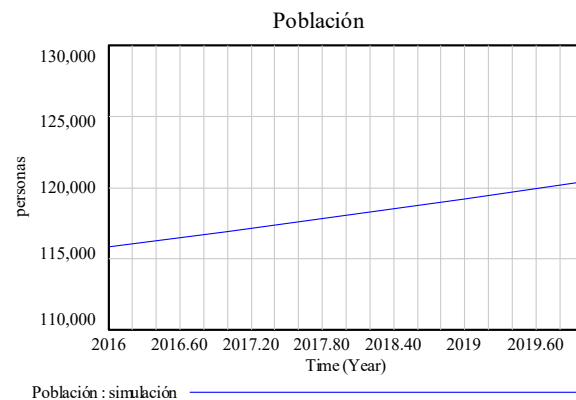
Tabla de fórmulas:

$poblacion = emigracion + nacimientos - migracion - muertes.$
$poblacion\ empleada\ actual = contratacion - despidos.$
$consumo = Ventas\ anuales / Población$
$nacimientos = poblacion * tasa\ de\ nacimientos.$
$muertes = poblacion / tasa\ de\ mortalidad.$
$emigracion = poblacion * tasa\ de\ emigracion.$
$migracion = poblacion * tasa\ de\ migracion.$
$contratacion = Población * Tasa\ de\ empleo$
$despidos = poblacion\ empleada * tasa\ de\ despido.$
$generar\ nuevas\ empresas = dInversión\ en\ creación\ de\ nuevas\ empresas * Tasa\ de\ generación\ de\ nuevas\ empresas$

IV. RESULTADOS.

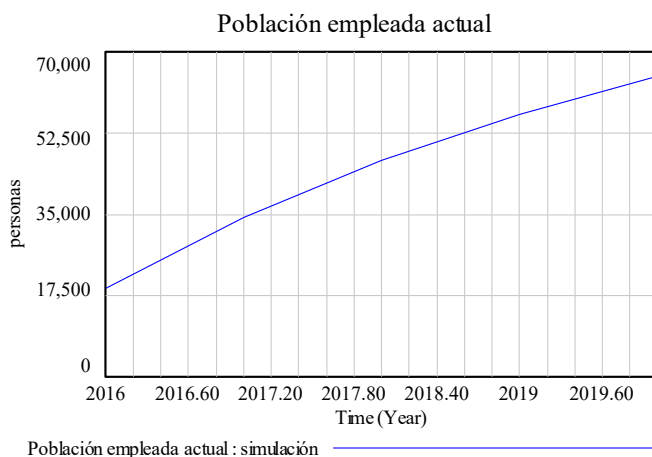
A partir de los datos obtenidos de parte de la cámara de comercio y el DANE del año 2016 y simulando en diagrama de forrester hasta el año 2020, se pudo observar el comportamiento de las variables de población, población empleada actual, producción, número de empresas actuales, ingreso por ventas y el PIB , el cual se describe a continuación.

Población: La población para el año 2020 presentará un crecimiento de 4572 habitantes afectado mayormente por la tasa de migración. (Ver gráfica 3).



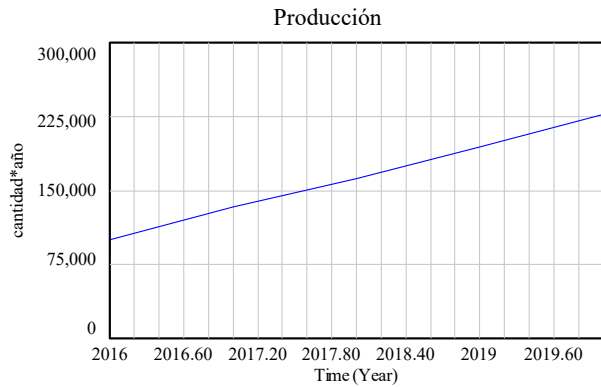
Gráfica 3. Población

Población empleada actual: La población empleada reportada en el 2016 para la ciudad es de 19020 empleados, incrementándose en 45706 nuevos empleos para el año 2020 gracias a la aparición de nuevas empresas en la ciudad como producto de la capacidad de inversión (ver gráfica 4).

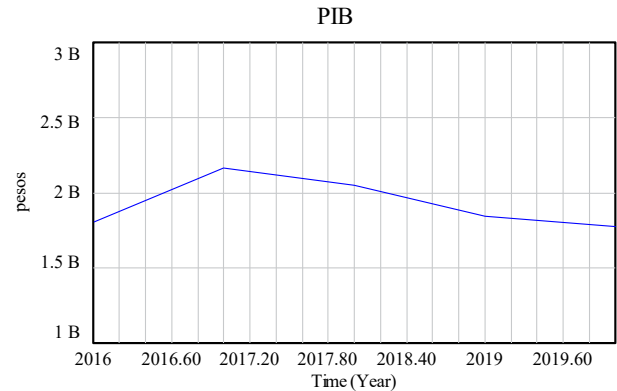


Gráfica 4. Población empleada actual.

Producción: la producción se incrementa en 127365 unidades de producto debido principalmente al incremento del consumo de la población empleada que a su vez es resultado de las nuevas empresas que se crean en la ciudad (ver gráfica 5).



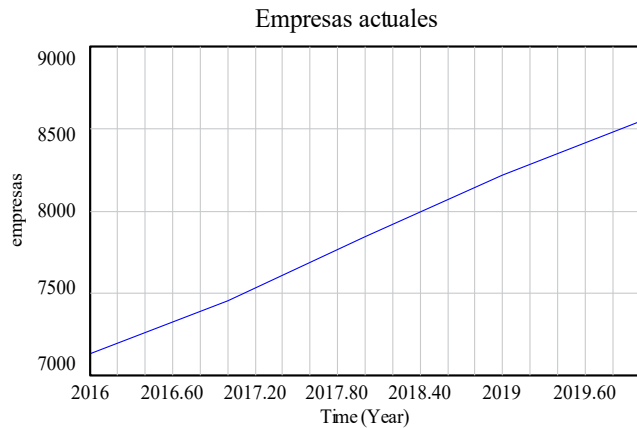
Producción : simulación
Gráfica 5. Producción



PIB : simulación

Gráfica 7. PIB

Empresas actuales: Se presenta un incremento en las empresas actuales en 1414 empresas al 2020, generadas principalmente por el incremento en la capacidad de inversión (ver gráfica 6).



Empresas actuales : simulación
Gráfica 6. Empresas actuales

PIB: El PIB presenta un comportamiento creciente durante el primer año y luego se va ajustando a los niveles actuales al 2020 debido a los cambios esperados en la demanda de productos y servicios.(Ver gráfica 7)

V. CONCLUSIONES

Este trabajo logró mostrar la importancia de algunas variables que afectan el desarrollo económico de una ciudad, lo cual permitirá en el futuro tomar decisiones más pertinentes para el bienestar social y empresarial de una ciudad.

VI. REFERENCIAS

- [1] Oaxaka, J. (2008). ECONOMIA, ASPECTOS MACRO Y MICRO ECONOMICOS QUE IMPACTAN LA PRODUCCION PECUARIA Y EN LOS COSTAS DE PRODUCCION A NIVEL REGIONAL. Obtenido de cdigital.dgb.uanl.mx: http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020115096/1020115096_066.pdf.
- [2] República, B. d. (2013). INFORME SOBRE LA INFLACION. Obtenido de banrep.gov.co: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/isi_dic_2013_0.pdf
- [3] República, B. d. (2014). ECONOMIA DE LAS GRANDES EN COLOMBIA: SEIS ESTUDIOS DE CASO. Obtenido de: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/lbr_economia_grandes_ciudades.pdf
- [4] República, B. d. (2017). Boletín de Indicadores Económicos. Obtenido de banrep.gov.co: <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/paginas/bie.pdf>

VII.

BIOGRAFIAS.



MARGY NATHALIA ROJAS PALACIOS, tengo 16 años, vivo en la ciudad de Guadalajara de Buga, soy estudiante de la facultad de ingeniería industrial, segundo semestre de la Corporación Universitaria Minuto de Dios rectoría Valle.
mrojaspalac@uniminuto.edu.co



JENNIFER HENAO GRISALES, soy estudiante de segundo semestre y miembro del semillero de investigación de dinámica de sistemas de la facultad de ingeniería industrial de la corporación universitaria minuto de Dios sede buga, valle del cauca.
jhenaogrisa@uniminuto.edu.co



JULIAN ALEJANDRO PANTOJA CAMPO, tengo 19 años soy estudiante de segundo semestre de ingeniería industrial y miembro del semillero de investigación en dinámica de sistemas de la corporación universitaria minuto de Dios de la sede de buga rectoría valle.
jpantojacam@uniminuto.edu.co



REINEL ANDRES MURILLO AGUDELO, estudiante de la facultad de ingeniería industrial segundo semestre, corporación universitaria minuto de Dios, sede Buga.
rmurilloagu@uniminuto.edu.co

Gestión de residuos y su influencia en el Índice de Calidad Ambiental Urbana en Bogotá.

J. Rodríguez., D. Ibarra-Vega,

Resumen- En este trabajo se presenta una primera versión de un modelo que pretende evaluar la gestión integral de residuos ordinarios en la ciudad de Bogotá y su influencia en el Índice de Calidad Ambiental Urbana-ICAU, específicamente en los aspectos de porcentaje de residuos sólidos aprovechados y cantidad de residuos sólidos por habitante dispuestos en el relleno sanitario. Para esto, se caracterizó el sistema en tres variables principales, generación, recolección y disposición, afectadas directamente por la población. El objetivo final del modelo será evaluar diferentes escenarios del manejo de residuos orgánicos e inorgánicos para ver su influencia en los aspectos del indicador de residuos del Índice de Calidad Ambiental Urbana.

Palabras Clave — *Residuos Sólidos, Calidad Ambiental Urbana, Dinámica de Sistemas.*

I. INTRODUCCIÓN.

La generación de residuos en Bogotá ha tenido una tendencia creciente en los últimos años, pues desde 1998 hasta el 2013, en promedio ha aumentado 2,25% anualmente. Lo anterior, sumado a aspectos como la informalidad de los recicladores, la poca eficiencia de las rutas de recolección, la falta de infraestructura que permita hacer tratamiento adecuado a los residuos, la nula o poca separación en la fuente y demás situaciones, genera que el escenario actual sea crítico (UAESP, 2014), pues el relleno sanitario doña Juana ha terminado su vida útil.

El actual PGIRS - Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - de Bogotá tiene como uno de sus principales objetivos establecer medidas que incluyan a los recicladores de oficio, para que se pueda crear un nuevo esquema de gestión más efectivo. En una revisión de dicho documento, se encontró que los residuos recogidos al mes en la capital, para el 2015, fueron 189.238,94 toneladas, de las cuales 149.167,48 fueron de origen domiciliario; de esta forma, teniendo en cuenta que la población para diciembre de ese año fue de 7'878.783 personas, la producción per cápita de residuos promedio es de 0,8006 kg/habitante-día (Secretaría del Hábitat & Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, 2016).

Actualmente, en Colombia se encuentra el Índice de Calidad Ambiental Urbana – ICAU – creado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Este índice contempla dos indicadores relacionados con los residuos sólidos uno es porcentaje de residuos sólidos aprovechados y otro es la cantidad de residuos sólidos por

habitante dispuestos en el relleno sanitario. Actualmente el resultado en Bogotá para estos indicadores es baja calidad, lo cual invita a la búsqueda de alternativas para mejorar en este ítem y aportar a la calidad ambiental urbana de la ciudad. De esta forma con Dinámica de sistemas se ha construido un modelo que busque evaluar diferentes escenarios del manejo de residuos y ver su influencia en los aspectos del indicador de residuos del Índice de Calidad Ambiental Urbana.

Como referentes internacionales, en modelos para la gestión de residuos, se tienen algunos trabajos actuales, entre los cuales se encuentra (Sukholthaman & Sharp, 2016), quienes obtienen un modelo con Dinámica de Sistemas para la evaluación de los efectos de separación en la fuente en la ciudad de Bangkok, Tailandia; allí se enfocan en residuos reciclables y orgánicos. De igual manera, (Hénault- Ethier, Martin & Housset, 2017) desarrollaron un modelo para la gestión de residuos orgánicos en Quebec, en el que evaluaron escenarios bajo perspectivas de inclusión social con aspectos ambientales y económicos, para el mejoramiento de la gestión de residuos. (Ding, Yi, Tam, & Huangl, 2016) desarrollaron un modelo para la reducción de la disposición final de residuos de construcción, con el fin de mitigar los impactos ambientales ocasionados por estos en China. Otros autores (Ardi,

& Leisten, 2016; Sufian, & Bala, 2007; Zanjani, Kiani, Saeedi, & Vosoogh, 2012) también han utilizado el modelamiento con dinámica de sistemas para la evaluación de gestión de residuos sólidos.

II. METODOLOGÍA.

Un sistema de gestión de residuos sólidos sostenible debe estar enfocado en la reducción de la cantidad de residuos generados y gestionar los residuos de una manera que logre minimizar la carga ambiental asociada a la disposición final. Para tal fin, el modelo de gestión debe contemplar un enfoque global y sistémico (residuos, actores, estrategias, legislación etc.); combinar métodos de recolección y tratamiento (UAESP, 2015).

Dado esto, como primer paso dentro de la metodología se considera el hecho de definir las variables a estudiar dentro de la gestión de residuos en la ciudad de Bogotá y como vincular variables que permitan la relación con el Indicador de Calidad Ambiental Urbana.

na. Dichas variables se encuentran establecidas en la figura que se muestra a continuación:

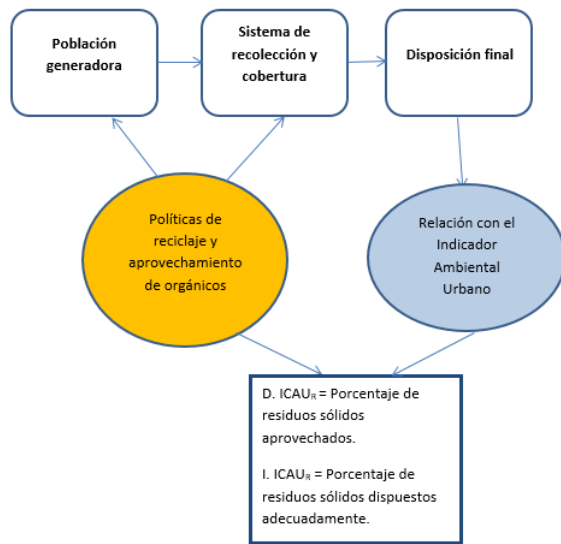


Figura 1. Variables previas e importantes para tomar a consideración en el futuro modelo.

III. MODELAMIENTO.

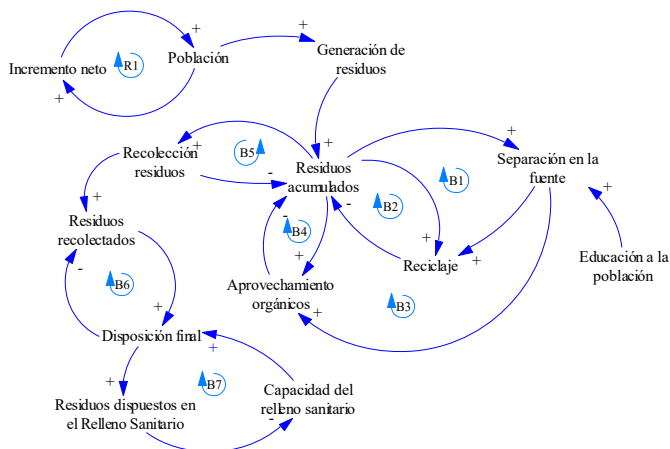


Figura 2. Diagrama causal del problema.

El diagrama causal puede entenderse a partir de la población. Factores como los nacimientos, las muertes, la emigración y la inmigración afectan la cantidad de personas de la ciudad de Bogotá, sin embargo, para sintetizar estas relaciones, se usa el concepto de incremento neto, que reúne las variables mencionadas anteriormente y que llevan, en conjunto, a tener un efecto en la población; es así que, si hay un incremento neto positivo, la población aumentará y si esta última aumenta, el incremento neto también lo hará, por lo cual dicho bucle es de refuerzo.

Luego, si la población incrementa, habrá más generación de residuos, lo que lleva a decir que habrá más residuos acumulados. Lo

que ocurre ahora es que, si se aplican diferentes estrategias, dichos residuos pueden disminuir; por ejemplo, entre más residuos acumulados y más educación a la población, se hará más separación en la fuente, acción que permitirá dos acciones: la primera, más reciclaje y, por lo tanto, menos residuos acumulados – primer bucle de balance, del que se genera otro entre residuos acumulados y reciclaje –; la segunda, más aprovechamiento de material orgánico y menos residuos acumulados – tercer bucle de balance, del que se genera otro entre residuos acumulados y aprovechamiento de orgánicos –.

Los residuos acumulados también disminuyen con la recolección, pues pasan de ser llamados así a ser nombrados como residuos recolectados, aquellos que

van en el vehículo transportador; de esta forma, se crea el quinto bucle de balance, pues entre más residuos acumulados, habrá más recolección, pero si hay más recolección, los residuos acumulados disminuirán.

Con la recolección, como ya se dijo, aumentan los residuos recolectados, los cuales deben disponerse, es así que, a mayor cantidad de residuos recolectados, más disposición final debe hacerse, pero a mayor disposición final, aquellos residuos presentes en los vehículos disminuirán; lo anterior permitió crear el sexto bucle de balance.

Finalmente, si se hace más disposición final, habrá mayor cantidad de residuos en el Relleno Sanitario, lo que hará que la capacidad del mismo disminuya; al observar este último aspecto detalladamente, se puede ver que a menor capacidad del relleno, menos disposición final de residuos se podrá hacer, lo que permite crear el último bucle de balance.

3.1 Diagrama de Niveles y Flujos.

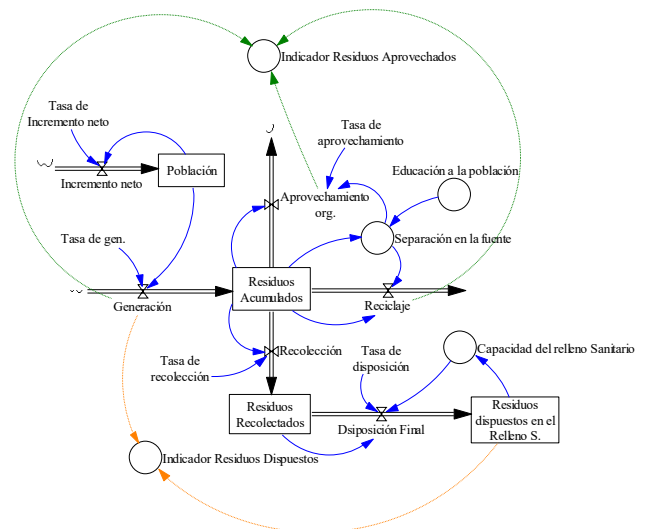


Figura 3. Diagrama de niveles y flujos del problema.

A partir del diagrama causal de la figura 3. Se procede a la elaboración del diagrama de Niveles y Flujos del problema a estudiar. De esta forma se obtuvo un diagrama con 4 variables de nivel que representan las distintas etapas de la gestión de residuos en la ciudad. Adicionalmente se vincularon los indicadores de residuos sólidos que influyen en el índice de calidad ambiental urbana, estos son: indicador de Residuos aprovechados, el cual está en función de la generación de residuos y la cantidad de residuos que se reciclan y la cantidad de residuos orgánicos que se aprovechan. De igual manera se encuentra en indicador residuos dispuestos adecuadamente, el cual está en función de la cantidad de residuos dispuestos en el relleno sanitario y de la cantidad de residuos generados.

IV. DISCUSIÓN PRELIMINAR.

En este resumen se ha elaborado un diagrama casual que representa los aspectos generales de la gestión de residuos ordinarios en la ciudad de Bogotá. Posteriormente se construyó un diagrama de Niveles y Flujos con cuatro variables de nivel, adicionalmente se logró vincular los indicadores relacionados con residuos sólidos, los cuales hacen parte de la medición del índice de calidad ambiental urbana en el componente directo e indirecto.

Para la versión extendida del trabajo se complementará con las ecuaciones del modelo y simulación de las condiciones iniciales así como una primera aproximación de los resultados de los indicadores de los residuos sólidos.

V. REFERENCIAS.

1. Ardi, R., Leisten, R. (2016). Assessing the role of informal sector in WEEE management systems: A System Dynamics approach. *Waste Management* 57, 3–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.038>
2. Ding, Z., Yi, G., Tam, V., Huang, T. (2016). A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. 51., Pages 130–141 <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.001>
3. Hénault-Ethier, L., Martin, J.P., Housset, J. (2017). A dynamic model for organic waste management in Quebec (D-MOWIQ) as a tool to review environmental, societal and economic perspectives of a waste management policy. *Waste Management*. Article in press. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.021>
4. Secretaría del Hábitat & Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. (2016). Documento técnico de soporte del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para Bogotá D.C.

5. Sufian, M., Bala, B. (2007). Modeling of urban solid waste management system. The case of Dhaka city. *Waste Management*. 27 858-868
6. Sukholthaman, P., & Sharp, A. (2016). A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.026>
7. UAESP. (2014). Documento para Discusión. Modelo de aprovechamiento propuesto. Recolección, transporte, clasificación y pesaje.
8. UAESP. (2015) Actualización Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Bogotá DC. Borrador 1. [Disponible en línea].
9. Zanjani, A., Kiani, B., Saeedi, M., & Vosoogh, A. (2012). The effect of the waste separation policy in municipal solid waste management using the system dynamic approach. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.4103/2277-9183.94389>

Autores:

Rodriguez Jennifer: Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Sergio Arboleda. Integrante del Semillero de Investigación en Ingeniería Ambiental y Bioprocesos.

Danny Ibarra Vega: PhD (c). Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Msc. Gestión Ambiental. Esp. Gerencia Ambiental. Ingeniero Biotecnológico. Docente Investigador de Ingeniería Ambiental, Universidad Sergio Arboleda.

Who's Really Paying For “Ser Pilo Paga”?

Juana Alejandra Piedrahita
Sebastián Puccini
Guillermo Tobar

Abstract— This article uses System Dynamics methodology in order to analyze the current situation with the “Ser Pilo Paga” programme in Colombia. The proposed model explains how different variables such as the tuition in private and public universities, the percentage of aspiring students for private institutions within and outside of Ser Pilo Paga, among others, influence the long term behavior of the number of middle-class students who are enrolled in private universities in Colombia. The main issue that the programme currently faces is the fact that the government will continue to pay the tuitions for the scholarships even if the price starts to increase exponentially. Likewise, for high-class students the tuition is somehow an inelastic good, meaning they will continue to pay it even if it rises. On the other hand, middle-class students will start feeling the effects of the rising tuition almost immediately, which will have a negative long term effect on them since they will no longer be able to afford it, and the aspiring students will start to opt out of applying to private universities. This analysis is intended for the Ministry of Education to understand and prevent the long term negative effects of the programme from affecting the middle class population since an accelerated increase in tuitions has been recorded since the programme was implemented two years ago.

Keywords— Ser Pilo Paga, System Dynamics, universities, inequality, opportunities, private, public, tuition, students.

Resumen - Este artículo utiliza la metodología de dinámica de sistemas con el fin de analizar la situación actual del programa “Ser Pilo Paga” en Colombia. El modelo propuesto explica cómo diferentes variables incluyendo el precio de la matrícula de universidades privadas y públicas, el porcentaje de aspirantes de Ser Pilo Paga a instituciones privadas, entre otras, afectan el comportamiento a largo plazo del número de estudiantes de clase media que están inscritos en universidades privadas en Colombia. El problema principal que enfrenta el programa actualmente es el hecho que el gobierno va a continuar pagando las matrículas para los becados aun si el precio de estas empieza a aumentar exponencialmente. De la misma manera, para los estudiantes de clase alta la matrícula es un bien inelástico, lo que significa que van a seguir pagándola así ésta aumente. Por otro lado, los estudiantes de clase media van a empezar a sentir los efectos del alza de los precios casi inmediatamente, lo cual va a tener un efecto negativo para ellos a largo plazo ya que no van a poder pagar la matrícula, y los aspirantes a estudiantes van a dejar de aplicar a estas universidades privadas. Este análisis tiene el propósito de que el Ministerio de Educación entienda y prevenga que los efectos a largo plazo del programa afecten a la población de clase media ya que el aumento acelerado de las matrículas se ha registrado desde que el programa se implementó hace 2 años.

Palabras clave - Ser Pilo Paga, Dinámica de Sistemas, universidades, inequidad, oportunidades, privadas, públicas, matrículas, estudiantes.

I. INTRODUCCIÓN

COLOMBIA es un país que se ha caracterizado año a año por sus altos índices de desigualdad. Actualmente, está ubicado en el puesto número 10 en el mundo y 2 en Latinoamérica, con un coeficiente de Gini de 54%. Esta desigualdad es evidente en el ámbito educativo, ya que, junto con los altos costos de las matrículas de las instituciones de educación superior, han hecho que las universidades de alta calidad sean asequibles únicamente para estudiantes de estratos altos y para los pocos que logran conseguir algún tipo de financiación.

Numerosos programas se han desarrollado con el fin de disminuir estos alarmantes índices. Dentro de los programas que mayor auge han tenido, se encuentra “Ser Pilo Paga”, proyecto que nace de la búsqueda de darles la posibilidad a los mejores estudiantes de bajos recursos del país, de acceder sin costo alguno a una Institución de Educación Superior en alta Calidad en Colombia. Este programa, a diferencia de otros implementados en Latinoamérica, le permite a los estudiantes elegir tanto carrera como universidad a la que quieren asistir, con lo que se busca aumentar el porcentaje de estudiantes graduados de bachiller que continúan con estudios superiores, el cual es actualmente 34.6% en Colombia y 48.5% en Bogotá.

Si bien, el programa ha arrojado resultados fructíferos con 31.000 beneficiarios hasta el primer semestre del 2017, el número de estudiantes que deciden estudiar en universidades privadas es alarmantemente alto. Tan solo el 16,1% de los jóvenes deciden estudiar en universidades públicas, lo que genera altos costos para el sostenimiento de las becas provenientes del gobierno. De los 498 mil millones de pesos que han sido invertidos en el programa desde sus inicios, el 98,4% de este monto ha sido dirigido a estudiantes que se encuentran en las universidades privadas alrededor del país. De este porcentaje, el 51% es para 5 de estas instituciones.

El gobierno también debe asumir los gastos de mantenimiento o subsidios a estos estudiantes, que incluyen principalmente transporte y alimentación, y varían entre 1 y 4 SMMLV según la distancia que el estudiante deba recorrer para llegar a la universidad y si

este vive con su familia o no.

Este programa, al garantizar el estudio en cualquier universidad tanto pública como privada, se ha vuelto muy costoso ya que actualmente el precio de una matrícula en una universidad privada alcanza en promedio a costar 6 veces más que una pública, haciendo que el gran número de becarios que prefieren una universidad privada lleve a un aumento significativo en los recursos necesarios para mantenerlo en pie. Aunque este sea el caso, el gobierno ha decidido que el programa lo que busca es precisamente que los estudiantes puedan ir a la universidad que prefieran, sin importar el costo, como recompensa a su gran desempeño académico. Esto claramente ha hecho que el porcentaje de estudiantes de estratos 1 y 2 en universidades privadas supere su máximo histórico y que, por el contrario, porcentajes de estudiantes de estratos más altos disminuyan un poco, en especial los de estratos 3 y 4.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede ver que los mayores afectados desde la implementación del programa han sido los estudiantes provenientes de familias de estratos medios. Al haber una mayor demanda por los cupos en universidades privadas y teniendo en cuenta que para el gobierno la matrícula es un bien inelástico, es decir, va seguir pagándolo sin importar los cambios en el precio de este, el aumento en la demanda de estos cupos por parte de los estudiantes becados ha causado un incremento exponencial en el precio de la matrícula, como consecuencia de la brecha entre el aumento de demanda y oferta de los cupos. Este comportamiento se ha registrado desde que empezó el programa Ser Pilo Paga. Ante esta situación, los estudiantes con altos recursos económicos y los estudiantes del programa, de todas formas, van a aplicar a los cupos de las universidades privadas, mientras que los estudiantes provenientes de estratos 3 y 4, los cuales no clasifican para hacer parte del programa, por momentos no están en capacidad de costear las universidades.

II. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

El programa Ser Pilo Paga, aunque claramente va a ayudar a un gran número de personas, también va a traer repercusiones negativas a largo plazo para otras. De esta manera, son los estudiantes provenientes de estratos medios los que se están viendo relegados por el sistema y son ellos quienes sufren las mayores consecuencias en el ámbito educacional dado que son el grupo al que más les va a afectar el cambio en el precio. Debido a esto se puede decir que la dinámica con la que el programa está reduciendo la desigualdad no es la más adecuada. Al no brindarle las oportunidades a estratos medios y teniendo en cuenta las alzas en los precios que un programa diseñado únicamente para estratos bajos está generando, se presenta un arquetipo de desplazamiento de la carga.

En este sistema, el arquetipo es evidente por lo que se espera que suceda a largo plazo, donde las universidades privadas van a tener

en su mayoría, estudiantes ya sea de estratos muy bajos (1 y 2) o muy altos (5 y 6) pero no medios. Esto claramente va en contra de lo que el gobierno busca que es que los estudiantes, sin importar si nivel socioeconómico, puedan acceder a cualquier universidad de alta calidad en Colombia. En este caso entonces, esta meta no se estaría cumpliendo para los estudiantes de estratos medios ya que el programa Ser Pilo Paga tendría un efecto en el precio de las matrículas que solo podrían pagar personas con muy altos ingresos, o los becarios, y como para hacer parte de programa es indispensable ser de estratos bajos, los de estratos medios no podrían ingresar a estas universidades y se generaría un nuevo problema para el gobierno.

Es importante tener en cuenta que la solución planteada por el gobierno, es de gran ayuda para la educación en Colombia en el corto plazo. Pero al haber un aumento constante en las matrículas de las universidades privadas en Colombia, con el tiempo no va a ser fácil que el programa sea sostenible. Si bien, el programa Ser Pilo Paga busca darles la oportunidad a los mejores estudiantes de estratos bajos de estudiar en la universidad que deseen, si se invirtiera ese dinero en educación pública, el número de beneficiados por las becas aumentaría significativamente. Si todos los estudiantes entraran a universidades públicas, el programa podría aumentar su cobertura a 200,000 estudiantes en vez de su meta actual de 40,000.

Un aspecto importante es que los estudiantes que entran al programa, aunque saben que todas las opciones que tienen de universidades, son de educación superior y de alta calidad, estos prefieren entrar a las privadas y no a las públicas que en varios casos, son iguales o mejores. Esto se debe a que actualmente, la mayoría de las instituciones que ocupan los mejores puestos a nivel nacional son privadas, lo que lleva a que la imagen de las públicas no sea tan buena entre los estudiantes que aspiran entrar a ellas.

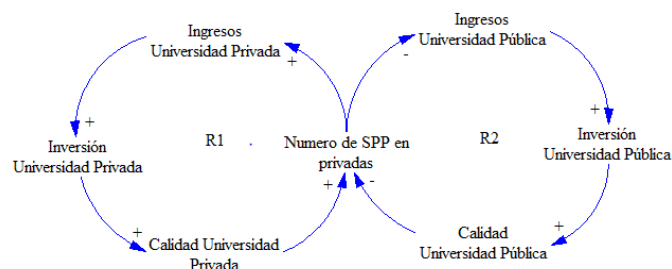


Figura 1: Arquetipo Éxito del Exitoso en el sistema.

Al mismo tiempo, como el programa está destinando la mayoría de sus recursos a estas instituciones, estas utilizan esa inversión para mejorar ya sea infraestructura, programas académicos, entre otros, que llevan a que su imagen y calidad mejoren, y aún más estudiantes quieren entrar a estas. Esto se puede ver modelado en la Figura 1. Donde claramente se observa que la situación se comporta como el arquetipo de “Éxito a los exitosos”. Aunque esto

beneficie a estas universidades, de la misma forma las públicas se están viendo afectadas negativamente. Éstas, al no recibir la financiación del estado por parte de los becarios quienes estarían dispuestos a pagar un precio mayor al de la matrícula, no van a poder mejorar su calidad, aumentando así la brecha entre la imagen que se tiene de estas universidades y de las privadas, lo que lleva a que disminuya aún más el número de becarios interesados en asistir a estas instituciones.

III. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO

En el transcurso del siguiente numeral, se hará una detallada descripción con su debido análisis de cada parte del modelo planteado con el fin de entender el funcionamiento completo del mismo y con esto, encontrar soluciones a los problemas mencionados previamente.

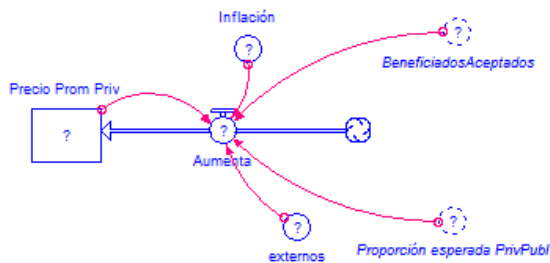


Figura 2: Precio promedio de matrículas de universidades privadas.

En la Figura 2 se muestra la manera en que aumenta el precio promedio de matrículas de las universidades privadas en el país. Por un lado, la inflación es un factor determinante en el aumento del valor de la matrícula. A mayor inflación, mayor va a ser el aumento en el precio de la matrícula en el periodo. Por otro lado, el número de beneficiados aceptados multiplicado por la proporción de los estudiantes que entran a universidades privadas, constituye el número de pilos que ingresan en el periodo a universidades privadas. Éstos beneficiados son insensibles al precio de la matrícula, ya que el gobierno está en la obligación de dar el cupo a los estudiantes independientemente del valor de la misma. Teniendo esto en cuenta, a mayor número de estudiantes insensibles al precio de la matrícula, mayor va a ser el valor de la misma, ya que las universidades tendrán la certeza de que, indiferentemente, ésta se va a pagar.

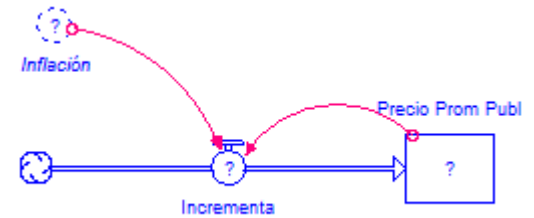


Figura 3: Precio promedio de matrículas de universidades públicas.

Por otro lado, en la Figura 3 se muestra la manera en la que incrementa el precio promedio de las matrículas de universidades públicas en Colombia. A mayor inflación, mayor será el aumento en el periodo. Otros factores relacionados al aumento de la matrícula no son tomados en cuenta en términos del modelaje.

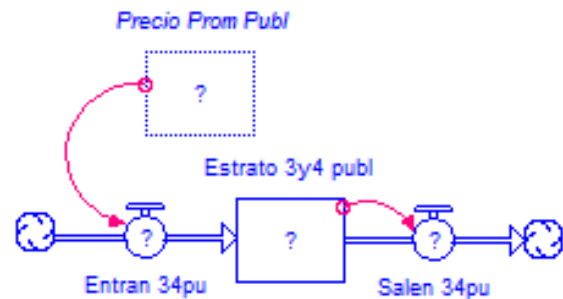


Figura 4: Estudiantes de estratos medios en universidades públicas.

La Figura 4 muestra el comportamiento del nivel del número de estudiantes de estratos medios que se encuentran estudiando en universidades públicas. Por un lado, a mayor sea el precio de la matrícula, menos estudiantes van a ingresar a universidades públicas. Por otro lado, cada periodo un porcentaje de personas, dejan de ser estudiantes de universidades públicas ya sea debido a deserciones o graduaciones.

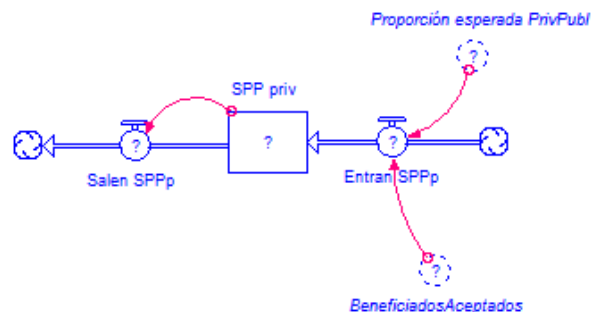


Figura 5: Estudiantes de estratos bajos en universidades privadas.

La Figura 5 muestra el comportamiento de los estudiantes beneficiados por Ser Pilo Paga que están inscritos en universidades privadas. El flujo de entrada se calcula multiplicando la proporción esperada de beneficiados que entran a universidades públicas con el número de beneficiados aceptados. Por otro lado, cada periodo un porcentaje de personas dejan de ser estudiantes de universidades privadas ya sea debido a deserciones o graduaciones.

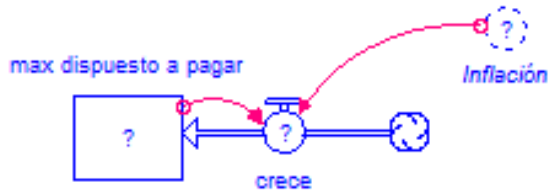


Figura 6: Máximo monto dispuesto a pagar por un semestre de universidad privada.

La figura 6, muestra el comportamiento del monto máximo que están dispuestos a pagar, estudiantes de estratos medios por una matrícula en una universidad privada. Este crecimiento no es constante en el tiempo, y en términos del modelaje, se toma como único factor de incremento la inflación.

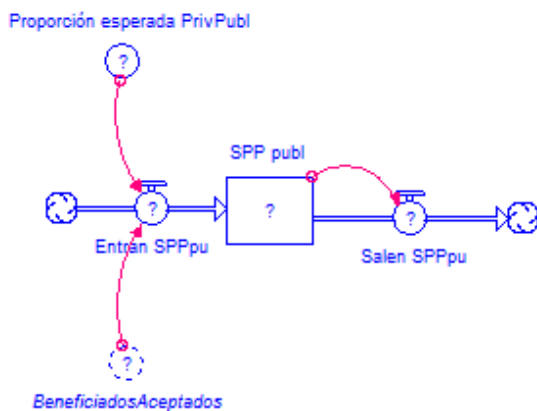


Figura 7: Estudiantes de estratos bajos en universidades públicas.

La Figura 7 muestra el comportamiento de los estudiantes beneficiados por Ser Pilo Paga que están inscritos en universidades públicas. Por un lado, el flujo de entrada se da al multiplicar la proporción esperada de beneficiados que entran a universidades públicas con el número de beneficiados aceptados. Por otro lado, cada periodo un porcentaje de personas dejan de ser estudiantes de universidades públicas ya sea debido a deserciones o graduaciones.

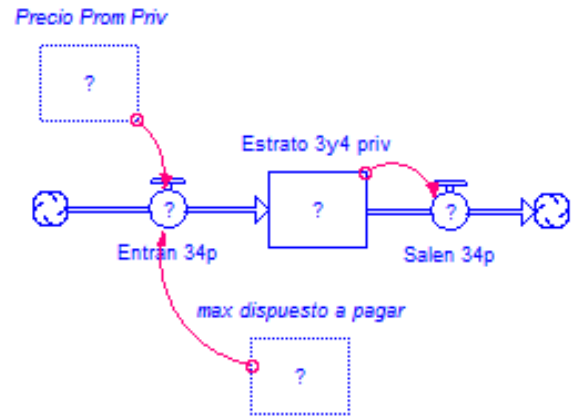


Figura 8: Estudiantes de estratos medios en universidades privadas.

La Figura 8 muestra el comportamiento del número de estudiantes de estratos medios que se encuentran estudiando en universidades privadas. En primera instancia, a mayor sea el precio de la matrícula, menos estudiantes van a ingresar a universidades privadas. De la misma manera, existe un monto máximo ponderado por el cual estudiantes de estratos 3 y 4 están dispuestos a pagar por una universidad privada. Si el precio de la matrícula supera este factor, se asume que no entran estudiantes de estratos medios a universidades privadas. Por otro lado, cada periodo un porcentaje de personas, dejan de ser estudiantes de universidades públicas ya sea debido a deserciones o graduaciones.

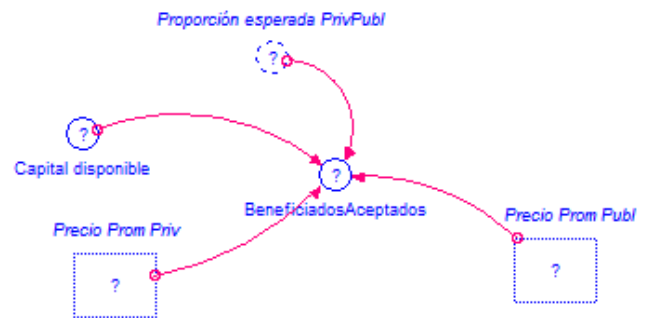


Figura 9: Beneficiados aceptados por el programa "Ser Pilo Paga".

La figura 9 muestra el comportamiento de la variable de beneficiarios aceptados en un periodo determinado. Este número de beneficiados depende del capital disponible, la proporción esperada de "pilos" y los precios de las matrículas para tanto universidades públicas como privadas. La suma del capital multiplicado por cada una de las proporciones y dividido sobre el precio de la matrícula respectiva, dan como resultado el número de beneficiarios totales en el sistema.

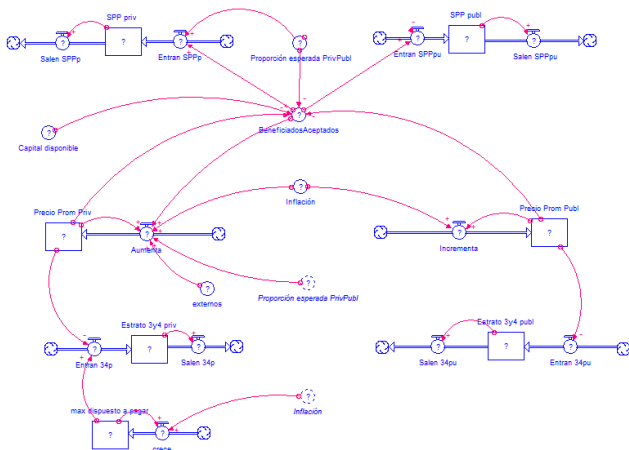


Figura 10: Modelo completo planteado del sistema.

IV. POLÍTICAS A LLEVAR A CABO

Después de realizar el modelaje del sistema, como principal factor, se ve la alta proporción de estudiantes beneficiarios de Ser Pilo Paga que entran a universidades privadas. El costo de las matrículas de las universidades privadas en el país, junto con la necesidad insaciable de los “pilos” por acceder a estas instituciones de educación superior, generan los inconvenientes ya mencionados en la caracterización del problema. Por esto, como política para el mejoramiento del sistema actual, se replantea el porcentaje de cupos que el programa otorga, para que en su mayoría se confieran a las universidades públicas. Al imponer un porcentaje mayor para dichas instituciones, un mayor número de “pilos” accederán automáticamente a universidades públicas, lo que genera, en el largo plazo, que se reduzca la brecha entre la calidad de la educación pública y privada en Colombia por medio del ingreso adicional que tendrían estas instituciones. De la misma manera, las universidades privadas no aumentarían sus precios de matrículas a las tasas que lo hacen actualmente, ya que el número de estudiantes a ingresar insensibles al precio se reduciría sustancialmente. Se incurre en un gasto mucho menor en matrículas por un mismo número de beneficiarios, lo que a su vez abre las puertas para otorgar becas adicionales y guardar recursos para aumentar la calidad de vida de los “pilos” mediante subsidios más altos. Esto, en el largo plazo, haría que las universidades públicas se volvieran competitivas, logrando así que estudiantes provenientes de todos los estratos puedan acceder a estudios superiores de calidad. A raíz de esto, la clase media no se vería relegada de la educación superior en Colombia, ya que, por un lado, las universidades públicas ofrecerán una calidad de estudio más competitiva y, por el otro, las universidades privadas se verían obligadas a no aumentar a las tasas que lo están haciendo actualmente los costos de matrícula, haciéndolas más asequibles para este grupo.

A continuación, se pueden observar los dos arquetipos presentes en el sistema.

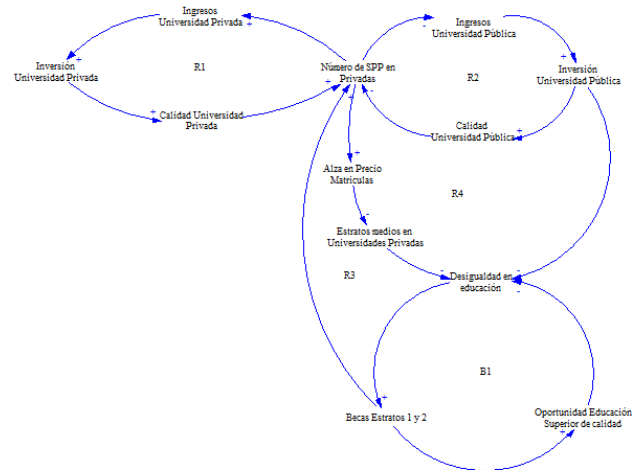


Figura 11: Desplazamiento de la carga y éxito del exitoso bajo la solución planteada por el gobierno.

La solución superficial que se tiene actualmente en el sistema es las becas “Ser pilo paga”.

Esta solución balancea la desigualdad en educación, pero, al mismo tiempo, aumenta el número de beneficiarios en las universidades privadas. Ésto implica un alza en el precio de las matrículas y, por consiguiente, una disminución en el número de estudiantes de estratos medios en las universidades privadas, afectando la desigualdad en educación.

Este incremento en el número de beneficiarios en universidades privadas implica, debido al arquetipo de éxito del exitoso explicado anteriormente, que se invierta cada vez menos en educación pública y que cada vez entren más becados a las universidades privadas. Si se invierte poco en la educación superior pública se estaría aumentando la desigualdad por lo que la solución implementada realmente está distribuyendo la carga.

Al implementar la política ya mencionada, se genera un comportamiento contrario al que se venía mostrando porque el número de “pilos” en universidades públicas aumenta, creando así un aumento en inversión en las instituciones públicas de educación superior, ya que los recursos que eran destinados a becas en instituciones privadas, son redistribuidos, dándole la posibilidad a más jóvenes de ser beneficiarios de “Ser Pilo Paga” en las universidades públicas del país. Ésta inversión en las universidades públicas es la solución real al problema actual del sistema, ya que, al reforzar su aumento, la desigualdad en la educación disminuye. Dicha desigualdad también se ve reducida debido a que la disminución de los cupos de “Ser Pilo Paga” a universidades privadas, hace que las universidades de éste sector, no aumenten radicalmente sus precios como ha venido ocurriendo en los últimos 2 años, por lo

que más estudiantes de estratos medios podrán costear sus estudios en universidades privadas y al mismo tiempo acceder a una educación pública de calidad.

V. CONCLUSIONES

Concretamente, con este estudio se logra comprender el funcionamiento actual de Ser Pilo Paga y se rediseña el sistema de forma que la mayoría de beneficiarios ingresen a instituciones públicas de educación superior. Aplicando esta política se logra que los estudiantes de estratos medios no se vean afectados por las decisiones tomadas por el gobierno. Así mismo, se va a lograr un mayor número de beneficiarios del programa sin una inyección en capital, ya que como se mencionó anteriormente, el promedio de la matrícula de una universidad privada es 6 veces mayor que el de una universidad pública. Habiendo cubierto un mayor número de beneficiarios con el mismo capital, se puede pensar en replantear los subsidios que se les están entregando a los “pilos” guardando así un stock de seguridad que sirva para suplir las necesidades que por momentos ellos están sufriendo por falta de dichos pagos. También, en el largo plazo, se va a disminuir la brecha de calidad que existe entre la educación pública y privada del país. Como resultado de lo mencionado anteriormente se dejan de evidenciar los arquetipos éxito del exitoso y desplazamiento de la carga en el sistema.

VI. AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento de este proyecto va dirigido a Laura Guzmán Abello y a Juliana Gomez Quintero, profesoras de la Universidad de los Andes, que tuvieron la disposición de apoyar nuestro trabajo, en el que aportaron tanto de su tiempo como conocimiento para la realización del mismo.

VII. REFERENCIAS

- [1] Central Intelligence Agency. (2016). DISTRIBUTION OF FAMILY INCOME - GINI INDEX. Recuperado el 27 de 06 de 2017, de The world factbook: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2172rank.html#co>
- [2] MINEDUCACIÓN. (16 de 09 de 2015). ¿Qué porcentaje de nuestros bachilleres ingresa de manera inmediata a la educación superior? Recuperado el 26 de 06 de 2017, de Boletín Educación Superior en Cifras: http://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-350451_recurso_11.pdf
- [3] Redacción Educación. (23 de 06 de 2016). El 98% de los recursos de Ser Pilo Paga se ha ido a las universidades privadas. Recuperado el 24 de 06 de 2017, de El Espectador: <http://www.elespectador.com/noticias/educacion/el-98-de-los-recursos-de-ser-pilo-paga-se-ha-ido-univer-articulo-639574>
- [4] Amador, M. A., & Campo, V. G. (01 de 02 de 2016). “Los alcances del ‘Ser Pilo Paga’ son excesivamente limitados”. Recuperado el 24 de 06 de 2017, de El Espectador: <http://www.elespectador.com/noticias/educacion/los-alcances-del-ser-pilo-paga-son-excesivamente-limita-articulo-600089>
- [5] Malaver, C. (18 de 07 de 2016). De cada 100 graduados, solo 48 ingresaron a la educación superior. Recuperado el 24 de 06 de 2017, de El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16656094>
- [6] Zuluaga, C. (16 de 01 de 2015). ¿Ser Pilo Paga también en la universidad pública? Recuperado el 23 de 06 de 2017, de El Espectador: <http://www.elespectador.com/noticias/educacion/ser-pilo-paga-tambien-universidad-publica-articulo-540144>
- [7] Semana Educación. (28 de 06 de 2016). Universidades privadas reciben el 98 % de los recursos de Ser Pilo Paga. Recuperado el 23 de 06 de 2017, de Semana: <http://www.semana.com/educacion/articulo/ser-pilo-paga-universidades-privadas-reciben-dinero-de-ser-pilo-paga/479620>
- [8] La Otra Cara. (19 de 06 de 2016). Los estudiantes que abandonaron el programa Ser Pilo Paga. Recuperado el 24 de 06 de 2017, de La Otra Cara: <https://laotracara.co/actualidad/los-estudiantes-que-abandonaron-el-programa-ser-pilo-paga/>
- [9] El Tiempo. (23 de 02 de 2017). Desembolso de apoyo a ‘Pilos Paga’ iniciará a partir de este viernes. Recuperado el 24 de 06 de 2017, de El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/vida/educacion/desembolso-de-apoyo-a-estudiantes-del-programa-ser-pilo-paga-61352>
- [10] Dinero. (25 de 11 de 2015). Los detalles del programa Ser Pilo Paga. Recuperado el 24 de 06 de 2017, de Dinero: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/caratula/articulo/los-detalles-del-programa-ser-pilo-paga/216480>
- [11] The Systems Thinker. A Pocket Guide to Using the Archetype. Recuperado el 24 de 06 de 2017, de: <https://thesystemsthinker.com/wp-content/uploads/2016/01/PG02E-A-Pocket-Guide-to-Using-the-Archetypes.pdf>

AUTORES



De izquierda a derecha: Sebastian Puccini (s.puccini10@uniandes.edu.co), Juana Piedrahita (ja.piedrahita10@uniandes.edu.co) y Guillermo Tobar (g.tobar10@uniandes.edu.co), estudiantes de ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes.

Bandidos, granjeros y soldados: el conflicto y sus dinámicas poblacionales

A. Salgado, Estudiante Ingeniería Matemática, Universidad EAFIT, L. Cadavid, Ph.D en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín

Resumen— Los conflictos internos armados afectan a una gran cantidad de países alrededor del mundo. El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto que generan los enfrentamientos entre una fuerza estatal y una opositora en una sociedad artificial, incluyendo dinámicas de intercambio poblacional. Para ello, los autores desarrollan un modelo de simulación en el que existen granjeros como fuerza productiva, soldados como fuerza gubernamental, y bandidos como respuesta al abandono del gobierno para con los granjeros, y en el cual es posible que ocurran intercambios en los grupos poblacionales en función de la violencia que se genera por parte de los combatientes. Metodológicamente, los resultados indican que la inclusión de las dinámicas de intercambio poblacional tiene efectos importantes en el modelo. En términos prácticos, los resultados sugieren que la disminución del daño colateral que se genera durante los enfrentamientos puede ser una estrategia efectiva en la búsqueda de una sociedad exitosa.

Palabras clave— Conflictos armados, dinámica de sistemas, políticas para la paz, sociedad artificial.

I. INTRODUCCIÓN

Los conflictos internos armados afectan a una gran cantidad de países alrededor del mundo. En medio de continuas turbulencias sociales y políticas, las naciones siguen gastando enormes recursos en crear y contener la violencia, pero los resultados se reflejan pobremente en sus índices de paz. A nivel mundial, los países se han vuelto menos pacíficos durante la última década, trayendo un enorme impacto en las economías nacionales [1], [2].

En Colombia, el conflicto armado data desde la década de 1950 [3] y, aunque se espera que termine con el Acuerdo de Paz firmado entre el gobierno colombiano y la principal guerrilla del país en el año 2016 [4], las cifras indican que ocasionó la muerte de alrededor de 220 mil personas (19% representado en combatientes y 81% en personas civiles) [3]. Estas cifras ubican el país en el número 146 de un total de 163 en la lista de países más pacíficos del mundo para el año 2017 [1], convirtiéndolo en el país menos pacífico de todo el continente americano (superando incluso a México y Venezuela).

El entendimiento de los conflictos internos de países como Colombia por parte de los académicos podría ser un insumo alentador en la resolución de los conflictos y la construcción de una paz duradera en los territorios. Con esta motivación, el objetivo de este trabajo es evaluar el impacto que generan los enfrentamientos

entre una fuerza estatal y una opositora en una sociedad artificial.

Para ello, los autores desarrollan un modelo de simulación a nivel agregado basado en ecuaciones diferenciales, en el que se representa una sociedad artificial en la que interactúan una fuerza trabajadora, una militar y una rebelde, y se incorporan dinámicas asociadas con el intercambio de roles entre los individuos de cada una de las fuerzas en función de las consecuencias que sus interacciones originan.

Los resultados indican que la eficiencia, tanto de los grupos insurgentes como soldados, es un factor de alto impacto en los resultados del conflicto. Además, que alargar el tiempo que tardan las personas en darse cuenta de la violencia o tratar de minimizar el daño colateral para desestimular la unión de los granjeros a los grupos de bandidos, pueden ser estrategias efectivas en la búsqueda de una sociedad exitosa.

En este documento se dará, en primer lugar, una descripción más detallada del problema que se aborda, luego se describe la metodología usada para la realización del modelo, y por último se muestran los resultados del modelo y se dan algunas conclusiones. Cabe mencionar que, aunque se implementaron varias ideas de las ideas propuestas por Anderson [6], no fue posible incluir todas debido a limitaciones de tiempo.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Saeed, Pavlov, Skorinko y Smith [5] propusieron un modelo en el que se estudia una sociedad artificial en conflicto, con el fin de evaluar el impacto de diferentes políticas que permitan llegar a una sociedad próspera y con el mínimo nivel de violencia posible. En este modelo, el sistema representa una sociedad conformada por granjeros (que representan la sociedad civil), soldados (que representan la fuerza estatal) y bandidos (que representan las fuerzas insurgentes). Los granjeros son los encargados de producir los alimentos que, una vez vendidos, originan ganancias monetarias. A raíz de la caracterización del conflicto, estas ganancias se dividen en 3 partes: (a) la porción para los granjeros, (b) la porción para los soldados, y (c) la porción para los bandidos. Los bandidos toman su porción a través de mecanismos forzosos. Los soldados reciben su porción de las ganancias a través de los impuestos gubernamentales que buscan financiar su función de combatir a los bandidos, proteger a los granjeros y establecer el control del

estado sobre la sociedad.

Adicionalmente a estas interacciones, los autores incluyen dos condiciones psicológicas de los individuos: (1) identidad de grupo y (2) exposición a la violencia, las cuales son afectadas por sus relaciones en el transcurso del tiempo. La identidad de grupo hace alusión a la cohesión que tienen los individuos a su grupo en particular, debido a que su trabajo está siendo bien pagado en el caso de los granjeros y los soldados, o están obteniendo ganancias debido a sus acciones criminales en el caso de los bandidos. Estas características incrementan o decrementan la posibilidad de que un individuo cambie de grupo social debido a la exposición a la violencia o factores económicos desfavorables.

Los autores encuentran que, aunque los resultados tienden a ser similares con y sin las influencias psicológicas, las influencias psicológicas aceleran el proceso de ajuste y crean un espacio político adicional para las intervenciones en el sistema.

Para todos los efectos de este trabajo, la contribución de Saeed et al. [5] se entenderá como el modelo base.

El modelo base puede ser modificado para incluir algunas dinámicas descritas por Anderson [6] que reflejan con mayor detalle la naturaleza de los conflictos descritos. Según el autor, es conveniente que los modelos de contrainsurgencia reflejen el hecho de que los granjeros, si bien en principio apoyan al gobierno en su labor, podrían incluso convertirse en bandidos dependiendo de los daños colaterales ocasionados por el gobierno en su lucha contra los bandidos.

De acuerdo con los autores, el daño colateral es una variable que representa la afectación negativa que recibe la población civil a causa de las intervenciones de los soldados, la cual disminuye el apoyo que dan al gobierno. En este sentido, el apoyo al gobierno facilita o dificulta el reclutamiento de nuevos soldados, y define la cantidad de bandidos nuevos. Asimismo, los autores proponen el concepto de eficiencia en el combate de cada grupo (tanto soldados como bandidos), entendida como la capacidad que tiene el grupo de ser efectivo en sus acciones [6].

Para todos los efectos de este trabajo, este nuevo modelo se entenderá como el modelo modificado.

III. METODOLOGÍA

Con el fin de evaluar el impacto que generan los enfrentamientos entre una fuerza estatal y una opositora en una sociedad artificial, los autores desarrollaron un modelo de simulación a nivel agregado basado en ecuaciones diferenciales, para representar una sociedad en la que interactúan granjeros, soldados y bandidos, con posibilidad de intercambio de roles entre ellos en función de las consecuencias del conflicto presente.

A. Hipótesis dinámica

La hipótesis dinámica que describe la problemática se presenta en la Figura 1.

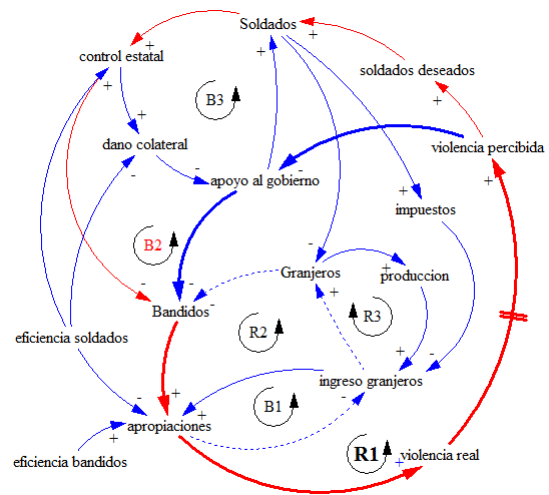


Figura 1. Hipótesis dinámica

La hipótesis dinámica está compuesta principalmente por 3 ciclos de balance y 3 ciclos de refuerzo.

Ciclo de la producción (R)

El ciclo de la producción refleja el hecho de que al incrementar el número de granjeros también incrementa su producción y en consecuencia los ingresos de los granjeros, lo que ocasiona un aumento en la cantidad de granjeros al volverse una actividad económica interesante para la población.

Ciclo del surgimiento de la insurgencia (R)

Los granjeros y los bandidos se balancean entre sí como sucede con los subgrupos poblacionales. Sin embargo, la actividad de los bandidos tiene un efecto adicional en la cantidad de granjeros, en la medida en que más bandidos incrementarán las apropiaciones (es decir, que disminuirá el dinero disponible de los granjeros). Como consecuencia, más granjeros se vuelven bandidos debido a la mala situación económica que sufren.

Ciclo del límite de apropiaciones (B)

Las apropiaciones, sin embargo, no son infinitas, sino que se encuentran limitadas por el ingreso de los granjeros, ocasionando el ciclo de balance del límite a las apropiaciones.

Ciclo de la violencia (B)

A raíz de la violencia generada por los bandidos en su apropiación de los ingresos de los granjeros, la sociedad empieza a tener una necesidad mayor de soldados, los cuales, a través del control estatal (que representa las acciones que los soldados ejecutan para lograr que los insurgentes no puedan obtener sus ingresos), disminuyen el número total de insurgentes. En esta medida, la violencia ejercida por los bandidos tampoco podrá ser infinita, pues está

limitada por el control estatal.

Ciclo del daño colateral (B)

Pero el control estatal por parte de los soldados en su lucha contra los bandidos tiene otras consecuencias además de la disminución de estos últimos. Al ejercerse el control estatal sobre los bandidos también se genera un daño colateral, el cual ocasiona que el apoyo que dan los granjeros al gobierno disminuya, disminuyendo asimismo el número de soldados. Es decir, así como los bandidos están limitados por el control estatal, los soldados están también limitados por el apoyo de los granjeros.

El daño colateral depende directamente de la eficiencia de los soldados, ya que entre más expertos se vuelven no solo aumenta su capacidad de defender los ingresos de los granjeros, sino que también disminuye el daño colateral que generan.

Ciclo del abandono gubernamental (R)

El apoyo al gobierno se encuentra también afectado por la violencia. Cuando la violencia en la sociedad aumenta, la población civil siente un abandono del gobierno que reemplaza con insurgentes, disminuyendo el apoyo al gobierno y aumentando con ello la cantidad de bandidos en la sociedad.

B. Diagrama de flujos y niveles

El modelo fue parametrizado para reflejar una sociedad artificial con fines teóricos. Por lo tanto, los valores no corresponden con un territorio específico, sino que son objeto de un caso de estudio abstracto. El paso del modelo de simulación es anual, y se ejecuta para un total de 50 años. El modelo fue desarrollado haciendo uso del software Vensim®[7]

La operacionalización de la hipótesis dinámica presentada en la Figura 1 se hizo a través de cuatro subsistemas, que se presentan a continuación.

Subsistema económico



Figura 2. Subsistema económico

En este subsistema se modelan las relaciones que giran en torno a la producción que generan los granjeros, la cual luego es disminuida tanto por las apropiaciones de los insurgentes como por los impuestos que el gobierno cobra para el sostenimiento de los soldados.

Subsistema de enfrentamientos

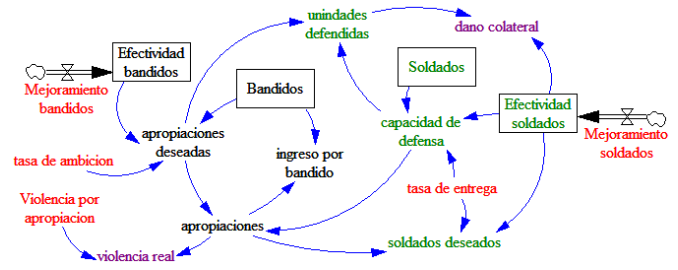


Figura 3. Subsistema de enfrentamientos

En este subsistema se modelan las relaciones que existen entre los bandidos (quienes tratan de apropiarse de la mayor cantidad de ingreso que puedan a través de actividades violentas) y los soldados (quienes luchan para impedir que estos, los bandidos, cumplan con su objetivo, generando daños colaterales).

El resultado de los enfrentamientos está dado por el número de individuos que tenga cada grupo, así como de su eficiencia; la eficiencia de cada grupo es modelada como un nivel que incrementa con el solo paso del tiempo [6].

El daño colateral y la violencia generada por las apropiaciones de los bandidos son la entrada del siguiente subsistema.

Subsistema de influencias



Figura 4. Subsistema de influencias

En este subsistema se toman la violencia generada por los bandidos y el daño colateral de los soldados para calcular el nivel de violencia de la sociedad que determinará, posteriormente, el apoyo al gobierno. Este apoyo no depende únicamente de la situación instantánea de la sociedad, sino de la acumulación de violencia que se tenga a lo largo del tiempo. Si la violencia crece el apoyo disminuye, pero si decrece o incluso se mantiene constante ayuda a restaurar la confianza en el gobierno por parte de los granjeros.

Subsistema social

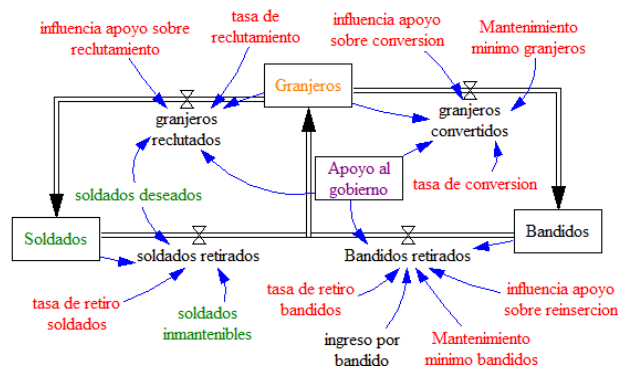


Figura 5. Subsistema social

Por último, en este subsistema se tienen las reglas que determinan los cambios de roles de los individuos de cada subgrupo poblacional, dependiendo del resultado de los subsistemas económico y de influencias. Los resultados de estos subsistemas son usados para saber en qué momento el estado requiere de una mayor cantidad de soldados, cuándo se ven los individuos de todos los subgrupos obligados a cambiar de grupo social (debido a una mala situación económica), y cuándo los granjeros se resisten a ser enlistados y prefieren cambiarse al bando de los insurgentes (debido a una poca creencia en el gobierno).

C. Validación

El modelo fue sometido a las siguientes pruebas de validación, que arrojaron resultados satisfactorios que incrementan la confianza en el mismo: comprobación de unidades, análisis de condiciones extremas, análisis de comportamiento anormal y análisis de sensibilidad. En la tabla 1 se muestran algunas de las unidades más relevantes del modelo.

Variable	Unidad
Efectividad soldados y bandidos	Unidades de efectividad
Violencia real y colateral	Unidades de violencia
Violencia por apropiación	Violencia sobre dinero
Daño colateral	Dinero defendido por unidad de efectividad
Tasa de ambición y entrega	Dinero sobre eficiencia por persona

Tabla 1. Unidades de variables relevantes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de evaluar el impacto de la inclusión de las dinámicas entre los subgrupos gracias al daño colateral, el modelo se corrió para dos casos: (1) Ignorando las dinámicas propuestas por Anderson [6] y (2) incluyéndolas en la ejecución del modelo.

Caso 1. Modelo sin adiciones
Los resultados del comportamiento de cada subgrupo poblacional en el modelo sin adiciones se presentan en la Figura 6.

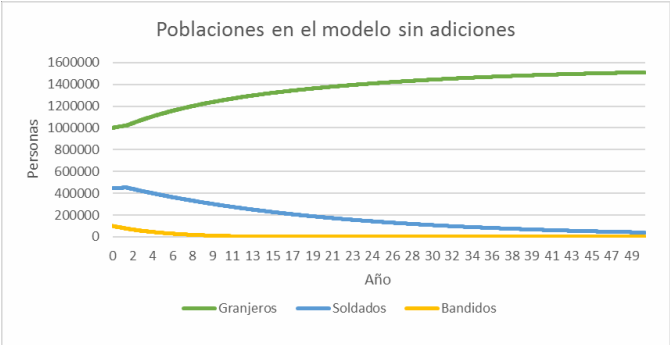


Figura 6. Comportamiento de las poblaciones en el modelo base

En esta simulación se puede ver como al encontrarse en una situación de ventaja numérica, los soldados pueden contener a los bandidos, quienes, a pesar de tratar de resistir control impuesto, encuentran que sus ganancias no son suficientes para la subsistencia y se ven forzados a convertirse en granjeros nuevamente. Por otro lado, la sociedad entiende que no hay necesidad de un gran número de soldados debido al retiro de los bandidos, por lo cual, también estos empiezan a volverse granjeros, finalizando así en una sociedad exitosa.

El nivel de violencia en la sociedad en el modelo base se presenta en la Figura 7.

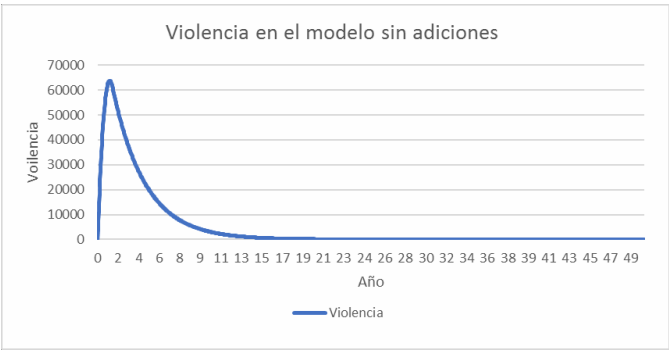


Figura 7. Violencia en el modelo base

Desde el punto de la violencia se puede percibir un claro incremento en este nivel al inicio de la simulación como resultado de la resistencia de los bandidos al control que imponen los soldados, sin embargo, tal como se explicó anteriormente, los bandidos se dan cuenta de que su esfuerzo no genera suficientes ganancias para subsistir y es debido a esto que empiezan a dejar la insurgencia debido a su situación económica desfavorable.

Caso 2. Modelo modificado

Los resultados del comportamiento de cada subgrupo poblacional en el modelo modificado se presentan en la Figura 8.

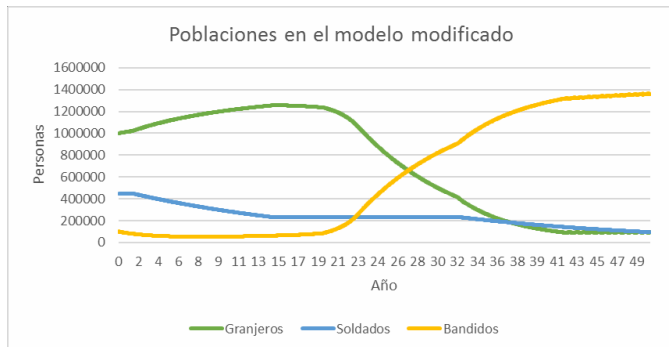


Figura 8. Comportamiento de las poblaciones en el modelo modificado

Es claro ver como al incluir las ideas descritas anteriormente la simulación del modelo cambia de una gran manera, esto debido a que, sin importar que la inicialización fue igual que en el caso anterior, ahora al iniciar su resistencia los bandidos fuerzan a los soldados a ejercer control estatal, el cual conlleva un daño colateral, y aunque al principio no parece afectar mucho y de hecho el número de soldados disminuye debido a que estos pueden contener a los bandidos, el daño colateral empieza a generar que los granjeros cada vez se vean más inclinados a volverse bandidos, hasta llegar a un punto donde las fuerzas militares, a pesar de su incremento en eficiencia, son incapaces de oponerse a los bandidos quienes a su vez siguen creciendo no solo en eficiencia sino también en número, situación que no es factible para los soldados debido al poco apoyo al gobierno que existe. Por último, se llega a un punto donde los granjeros no cuentan con recursos suficientes para sostener a los soldados existentes y es por esta razón que se encuentra una segunda caída en el número de soldados, situación que conlleva a un estado fallido.

Es importante aclarar que la estabilización aparente del número de granjeros en un valor distinto de 0 se debe a un continuo cambio entre los bandidos y granjeros debido a que sin su labor productiva los insurgentes no perciben ingresos y empiezan a cambiar de facción, pero debido al bajo nivel de apoyo al gobierno no se mantienen en ese grupo.

El nivel de violencia en la sociedad en el modelo modificado se presenta en la Figura 9.

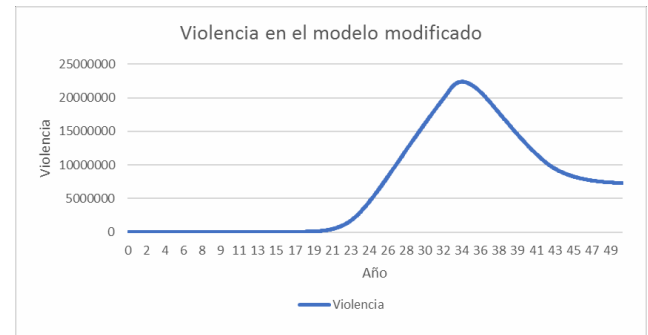


Figura 9. Violencia en el modelo modificado Fuente: los autores

Ahora desde el punto de vista de la violencia, la inclusión eficiencia muestra sus grandes efectos ya que a diferencia del caso anterior debido a su incremento ahora los soldados pueden contener de una mejor manera las acciones de los bandidos, pero tal como se mencionó anteriormente, el mantener este nivel tan bajo trajo como consecuencia la acumulación de un daño colateral que en última instancia genera un incremento en el número de bandidos y el nivel de violencia percibido por la sociedad, el cual muestra una caída al final debido al retardo que existe en la percepción de la violencia y a una disminución de los ingresos de los granjeros lo cual genera que los bandidos tengan menos apropiaciones y por ende generen menos violencia.

Los resultados indican que la consideración la eficiencia de cada subgrupo, los daños colaterales de las intervenciones gubernamentales en las dinámicas de los conflictos internos afectan los resultados del conflicto en una alta medida.

Esto sucede porque estas dinámicas permiten reflejar el hecho de que los granjeros pueden expresar su conformidad con lo que sucede en el sistema, y le da al modelo la capacidad de simular la decisión que un granjero tendría de unirse a al bando rebelde o ser reclutado por el gobierno.

Con el fin de explorar las potencialidades del modelo y el comportamiento del sistema ante diferentes configuraciones iniciales de una sociedad, se exploraron tres escenarios: (1) ventaja relativa para los bandidos, (2) ventaja relativa para los soldados y (3) sin ventajas relativas. Las ventajas se modelan a través de un desbalance en la eficiencia de cada subgrupo.

Escenario 1. Ventaja relativa para los bandidos

En este escenario, en el cual los bandidos tienen la ventaja, se obtienen los resultados del escenario descrito anteriormente (Caso 2, Modelo modificado).

Escenario 2. Ventaja relativa para los insurgentes

Los resultados del comportamiento de cada subgrupo poblacional en el escenario en el cual hay una ventaja relativa para los bandidos se presentan en la Figura 10. Asimismo, el nivel de violencia en la sociedad en el escenario 2 se presenta en la Figura 11

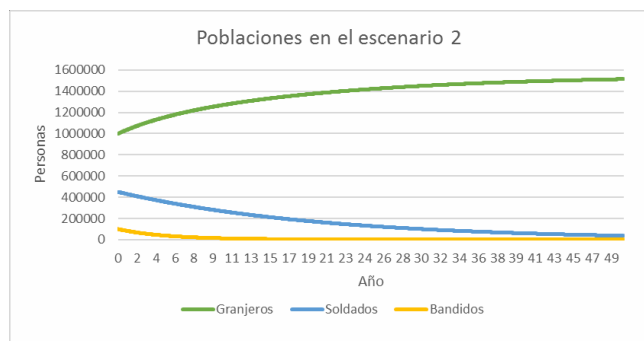


Figura 10. Comportamiento de las poblaciones en el escenario 2



Figura 11. Violencia en el escenario 2

En este escenario se puede ver una gran similitud con el primer caso mostrado (Caso 1, modelo sin adiciones), la dinámica de las poblaciones son prácticamente las mismas excepto que el número de soldados empieza a disminuir inmediatamente debido a su ventaja. Ahora desde el punto de vista de la violencia no se genera un incremento debido a la eficiencia de los soldados que no permite que los bandidos tengan apropiaciones, y aunque se genera un daño colateral este se puede contrarrestar con periodos de paz, haciendo que no sea suficiente para que los granjeros decidan cambiar de facción, lo que finaliza con un nivel nulo de violencia durante toda la simulación.

Escenario 3. Sin ventajas relativas

Los resultados del comportamiento de cada subgrupo poblacional en el escenario en el cual hay una ventaja relativa para los soldados se presentan en la Figura 12. Asimismo, el nivel de violencia en la sociedad en el escenario 1 se presenta en la Figura 13.

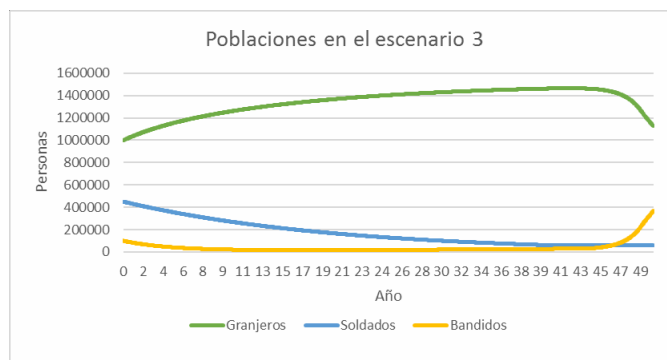


Figura 12. Comportamiento de las poblaciones en el escenario 3

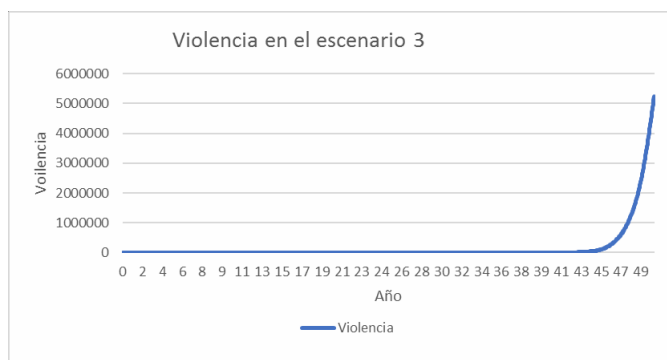


Figura 13. Violencia en el escenario 3

En el caso en el que los 2 grupos están igualados en fuerza sucede algo muy parecido al caso anterior, solo varían al final cuando los granjeros llegan a un punto donde el daño colateral acumulado hace que decidan cambiar de facción, desbalanceando la simulación y dañando el estado de éxito que la sociedad llevaba hasta ese momento.

Finalmente los resultados mostrados anteriormente indican la presencia implícita del arquetipo “éxito a los exitosos” [8] en los conflictos internos.

V. CONCLUSIONES

La inclusión de los conceptos del daño colateral, el apoyo al gobierno y la eficiencia creciente de los grupos combatientes permite el entendimiento de las dinámicas de los conflictos internos en los países. De esta manera, es posible observar de una forma más amplia los efectos que tiene la violencia y la estrategia a través de la cual es combatida en la búsqueda de políticas que permitan llegar a una sociedad en paz.

Se encontró que uno de los factores determinantes en el comportamiento del sistema es la eficiencia de los grupos de bandidos y soldados, pues permite representar el nivel de violencia y daño colateral que se genera durante una solución. En este sentido, los

resultados sugieren que tanto los valores iniciales de los niveles de eficiencia de los soldados y bandidos como las tasas a las que crece dicha eficiencia juegan un papel muy importante al permitir establecer que grupo tiene ventaja sobre el otro. Una vez que un grupo toma la delantera, es bastante difícil para su adversario volver a recuperarse, evidenciando la presencia implícita de las dinámicas características de un arquetipo del tipo éxito a los exitosos.

Finalmente, más allá de la consecución de una ventaja relativa de eficiencia de las fuerzas estatales sobre los grupos de bandidos, que ha sido la estrategia tradicional en el combate de los grupos de insurgentes, los resultados sugieren que alargar el tiempo que tardan las personas en darse cuenta de la violencia que está sucediendo, o tratar de minimizar el daño colateral para desestimular la unión de los granjeros a los grupos de bandidos, pueden ser estrategias igualmente efectivas en la búsqueda de una sociedad exitosa.

Otras investigaciones encaminadas a la inclusión de las dinámicas relacionadas con el desplazamiento masivo de granjeros hacia las grandes urbes y sus respectivas consecuencias sociales y económicas enriquecerían las conclusiones halladas. Asimismo, la calibración del modelo en escenarios reales podrían beneficiar el análisis del fenómeno de los conflictos internos.

VI. REFERENCIAS

- [1] Vision of Humanity, “Global Peace Index 2017,” 2017. [Online]. Available: <http://visionofhumanity.org/indexes/global-peace-index/>. [Accessed: 27-Jun-2017].
- [2] C. Davis, “Least Peaceful Country In The World Was Afghanistan In 2012, Study Finds | HuffPost,” *The World Post*, 2013.
- [3] Centro de Memoria Histórica Nacional, “Estadísticas del conflicto armado en Colombia,” 2017. [Online]. Available: <http://www.centrodememoriahistorica.gov.co/micrositios/informe-General/estadisticas.html>. [Accessed: 27-Jun-2017].
- [4] J. M. Santos and T. Jiménez, “Acuerdo Final para la Terminación del conflicto,” 2016. [Online]. Available: <http://www.altocomisionadoparalapaz.gov.co/procesos-y-conversaciones/Paginas/Texto-completo-del-Acuerdo-Final-para-la-Terminacion-del-conflicto.aspx>. [Accessed: 27-Jun-2017].
- [5] K. Saeed, O. V. Pavlov, J. Skorinko, and A. Smith, “Farmers, bandits and soldiers: a generic system for addressing peace agendas,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 29, no. 4, pp. 237–252, Oct. 2013.
- [6] E. G. Anderson, “A dynamic model of counterinsurgency policy including the effects of intelligence, public security, popular support, and insurgent experience,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 27, no. 2, pp. 111–141, Apr. 2011.
- [7] V. S. Inc., “Vensim {PLE} {Software}, {Ventana} {Systems} {Inc}.,” *Vensim*. 2016.
- [8] P. Senge, *The Fifth Discipline. Measuring Business Excellence*, vol. 1. MCB UP Ltd, 1997.

Productividad en el Eslabón Primario Ganadero de Doble Propósito: Efecto de la Asociatividad

D. Baquero, L. Rodríguez, E. Estupiñan

Abstract— La asociatividad es una estrategia adoptada a nivel mundial para mejorar la productividad en los sistemas ganaderos. Sin embargo, en el ámbito nacional es necesario seguir fortaleciendo este aspecto y estudiar su impacto en la productividad en los sistemas de producción ganadera de doble propósito. Esto dada la relevancia socioeconómica que tiene el sector ganadero en el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) del país. Por tal razón este estudio tiene como objetivo modelar un sistema de producción doble propósito para analizar el efecto que la asociatividad en la productividad. El modelo de simulación evidencia un incremento de la productividad de 2.6 a lt/vaca/día, dato que se ajusta al promedio nacional. Adicionalmente, se obtiene un incremento de la productividad del peso de un novillo de engorde de 550 a 650 kg, demostrando así su influencia en la mejora de la utilidad del pequeño ganadero, dada el aumento en la productividad y los menores costos, garantizando así su posibilidad de inversión para seguir creciendo.

Keywords— Sistemas ganaderos, Doble propósito, Dinámica de Sistemas, Asociatividad.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la cadena láctea se enfrenta a un entorno cada vez más competitivo, global, incierto, cambiante y complejo; afrontando retos tales como garantizar la seguridad alimentaria, generar un entorno seguro para sus trabajadores, obtener productos lácteos de alta calidad e inocuos, incrementar el tamaño del hato para mantener los niveles de producción, pero sin depredar los recursos naturales como agua, pastos, biomasa y el mejoramiento de las prácticas de producción. Estas dinámicas generan riesgos sociales, económicos y ambientales que deben considerarse para obtener ventajas competitivas en este tipo de mercado [1].

Dentro de los retos mencionados anteriormente, el mayor desafío para el 2050 es la alimentación de la población mundial dentro de la agenda global [2]. Para tal fin, se sostiene que la ganadería es relevante para este reto, el cual es complejo, multifacético y dinámico. Sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO – por sus siglas en inglés, menciona que en el sector lácteo, los productores de leche a pequeña escala, carecen de las competencias para administrar sus explotaciones como empresas; tienen acceso limitado a servicios asociados a la salud animal, mejoramiento genético, formación y crédito; tienen poco o ningún capital para invertir, y se ven obstaculizados por el reducido tamaño de sus rebaños, los bajos rendimientos lecheros y la mala calidad de la leche.

Una de las estrategias adoptadas a nivel mundial en el eslabón que se relaciona con la producción ganadera, es la asociatividad entre los ganaderos. Según [2], las asociaciones formales, en el ámbito rural, tienen una relación con el exterior, es decir, con actores económicos, institucionales y políticos. Esta condición facilita la gestión de recursos públicos para el mejoramiento del sector lácteo. Tal es el caso de Nueva Zelanda, en donde el gobierno mantiene el desarrollo del sector realizando inversión en ciencia, tecnología y asociación entre investigación y usuarios [3].

Por lo anterior, la industria lechera de Nueva Zelanda es conocida, en el contexto global, por su liderazgo en productividad y comercialización de productos. Logros alcanzados a través de un compromiso continuo con la investigación, el desarrollo y la innovación. Este aspecto, que le proporciona una ventaja competitiva, se da entre otras cosas, por la colaboración y el intercambio de conocimiento que se presenta en las agencias que lideran los proyectos con financiamiento público – privado [3].

Pasando al contexto colombiano, se encuentran estudios sobre asociatividad campesina de pequeños productores de leche, resistencias y acciones colectivas en el libre mercado y la globalización, en la región de Cundinamarca [4]. En donde se concluye que las prácticas rurales cobran importancia y son utilizadas en el debate sobre el nuevo sistema de producción; y se abordan temas de las dimensiones políticas, económicas, sociales y culturales, que por sus características dinámicas y plurales exigen miradas holísticas e interdependientes. En esta región se encuentra evidencia de la creación de asociaciones como: Asolesan, Asosantuario, Coaguascalientes, Coounión y Coagrogavio; las cuales se han creado y consolidado con el fin de fortalecer las capacidades productivas, comerciales, empresariales de sus integrantes [5].

En el país el 50% de los ganaderos son pequeños y medianos [6]; los primeros, para tener una caracterización aproximada de estos, según el estudio realizado por [7] en el municipio de la Vega - Cundinamarca poseen predios con extensiones entre 4 y 6 hectáreas, el 25% de esta población no posee asistencia técnica para transferencia tecnológica, el 81% no realiza un manejo de suelos y el 68% utiliza recursos propios para atender sus fincas. Adicionalmente, los altos costos de producción, las altas tasas de interés y la falta de capital y crédito, se constituyen en problemas relevantes que obstaculizan la mejora en la rentabilidad de sus explotaciones [7].

Teniendo en cuenta las debilidades estructurales del sector ganadero colombiano, entre las cuales se encuentra la falta de cultura asociativa, la Federación Colombiana de Ganaderos – Fedegan menciona que resulta necesario, como estrategia de fortalecimiento productivo, el fomento e implementación de proyectos asociativos. Estos permitirían a los productores acceder a los beneficios derivados del trabajo asociativo, tales como: economías de escala, disminución de costos de producción y mejoramiento de los niveles de productividad en finca y del tejido social de los grupos asociativos, entre otros elementos que se hacen evidentes en países líderes en producción y comercialización de productos lácteos.

En este sentido, el estudio utiliza la metodología de Dinámica de Sistemas para analizar el efecto de la asociatividad sobre la productividad de un Sistema Productivo de Doble Propósito (SPDP), evaluando los mejores escenarios posibles para los pequeños productores ganaderos. La información de entrada es tomada de fuentes secundarias del sector ganadero como se muestra a lo largo de la descripción del sistema de producción. Esta fase inicial de la investigación, es un punto de partida para evaluar en un posterior estudio los riesgos socioeconómicos e impacto en la sostenibilidad de estos productores.

II. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADERA DE DOBLE PROPÓSITO

El sector ganadero en Colombia tiene una gran importancia socioeconómica puesto que contribuye con el 45% de la producción agropecuaria, genera el 7% del total de empleos, produce el 1,6% de la riqueza nacional, participa con el 20% del PIB agropecuario y representa el 53% del PIB pecuario [8][9].

Además de lo anterior, el país posee un hato bovino aproximado de 23 millones de cabezas de ganado, del cual 56% son hembras, 26% son machos y el restante son animales menores de un año. Solamente el 2% de este total es clasificado como lechería especializada, el 38% se dedica al doble propósito y el 60% restante se ocupa de las actividades de ceba y cría en forma extensiva [8].

Un SPDP es tradicional del trópico bajo latinoamericano, en el cual se produce carne y leche en forma simultánea, utilizando como base vacas cebú o cruzadas con razas lecheras europeas, lo que por lo general va acompañado de la cría de terneros mediante amamantamiento [10].

Para este estudio se ha tomado como referencia los indicadores productivos de este tipo de sistemas que se identifican las siguientes Tablas:

TABLA I
INDICADORES PRODUCTIVOS EN DOBLE PROPÓSITO

Parámetro productivo	Promedio	
	Nacional	Sobresalientes
Natalidad (%)	50	80.4
Capacidad de carga(UGG/ha)	0,5	2,2
Intervalo entre partos(días)	700	456
Edad de sacrificio machos(mes)	46	38
Edad de destete(crias)	8	8
Producción leche(lt/vaca/día)	3,5	6,8
Tiempo de lactancia(mes)	10	8
Edad primer parto	37	34

Fuente: Fedegan, 2012.

TABLA II
ESTRUCTURA COSTOS EN DOBLE PROPÓSITO

Parámetro	Promedio	
	Nacional (%)	Sobresalientes (%)
Mano de obra	46	44
Suplemento	3	4
Manejo de suelos y praderas	0,1	11
Medicamentos	4	2
Mantenimiento de maquinaria y equipo	3	12
Servicios públicos	5	4
Gastos Financieros	4	6
Impuestos	3	3
Otros costos	39,9	14

Fuente: Fedegan, 2012.

TABLA III.
INDICADORES ECONÓMICOS EN DOBLE PROPÓSITO

Parámetro	Promedio	
	Nacional (\$)	Sobresalientes (\$)
Costo de kg ternero producido	2324	1778
Precio de kg ternero vendido	2700	2820
Costo de un litro de leche producido	620	514
Precio de litro de leche vendido	714	750

Fuente: Fedegan, 2012.

III. MODELO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN GANADERA DE DOBLE PROPÓSITO

El objeto de estudio es el efecto de la asociatividad en la productividad de un SPDP. Para tal fin, se consideran las variables de la Fig. 1.

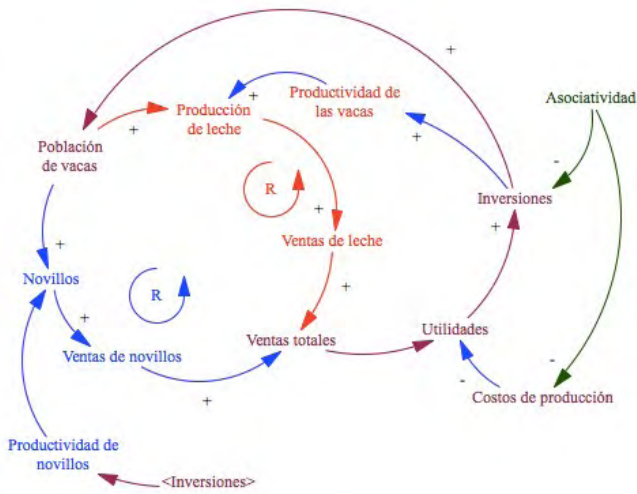


Figura 1. Diagrama causal.

En este diagrama causal se pueden identificar dos bucles de realimentación positiva. El primero conformado por la Población de vacas, Producción de leche, Ventas de leche, Ventas totales, Utilidades e Inversiones. El segundo por Población de vacas, Novillos, Venta de Novillos, Ventas Totales, Excedentes e Inversiones.

La Asociatividad es una variable que impacta al sistema a través de la y disminución de los montos de inversión y de los costos de producción [11]. En la Fig. 2 se muestra una aproximación al modelo que representa las etapas fisiológicas del ganado bovino de doble propósito.

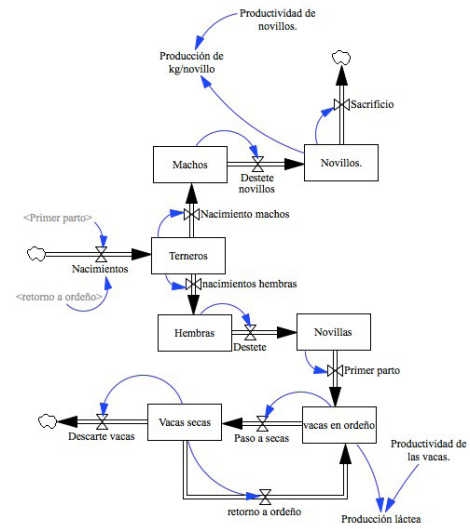


Figura 2. Diagrama Flujos y Niveles (Continuación Fig. 3)

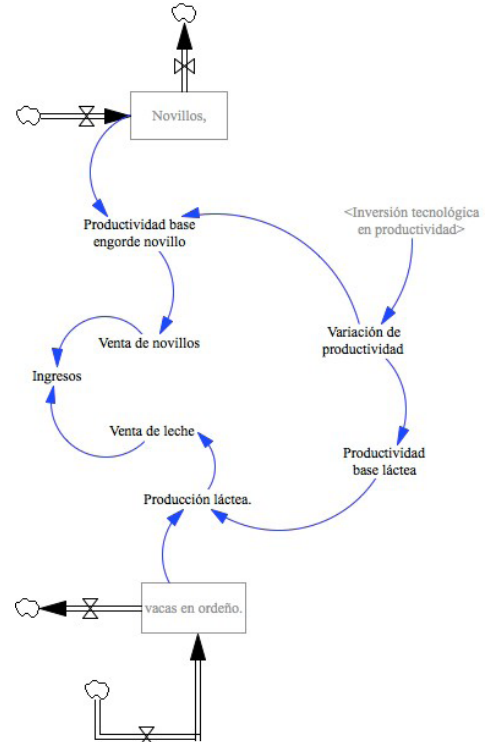


Figura 3. Influencia de la asociatividad en la producción láctea (Continuación Fig.4)

La Fig. 3 muestra inicialmente la influencia de la Asociatividad sobre la inversión en productividad, lo cual podría tener una incidencia en la producción láctea.

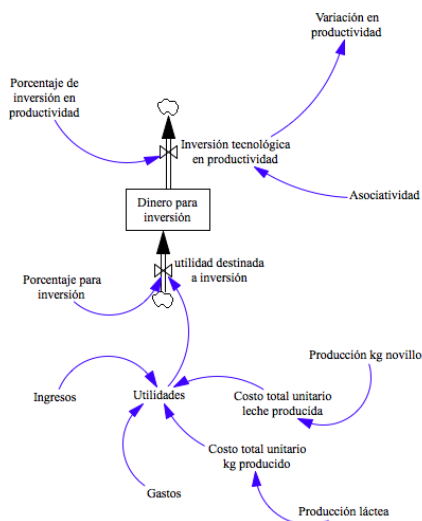


Figura.4 Inversión en productividad.

En la Fig 4. Se muestran las variables que intervienen en el nivel Dinero para Inversión, del cual se desprende el flujo de salida Inversión tecnológica en productividad, que representa el capital que podría destinar el pequeño ganadero para mejorar la productividad. En el modelo se consideran factores que afectan la productividad tales como: la mano de obra, alimentación, sanidad, ordeño mecánico, reproducción, manejo de suelos y praderas, que son las principales características de un SPDP [12].

En esta figura también se muestra la variable de Asociatividad, y se busca observar la reacción del sistema frente a ésta. Luego se establece una política que consiste en el aumento del número de asociados con el fin de analizar la respuesta a dicha influencia La política se plantea de acuerdo a las sugerencias propuestas en los documentos [13], [11].

IV. RESULTADOS

Inicialmente el modelo muestra que el pequeño ganadero con un hato de 10 vacas en ordeño y 3 novillos podría alcanzar utilidades de 941.880 pesos al finalizar los 84 meses del tiempo de simulación. Lo anterior, representa una rentabilidad del 9% como se muestran en la Fig. 5. Este resultado se obtuvo tomado como referencia una productividad de un pequeño ganadero de 2.26 litros/vaca/día y un número de fincas asociadas igual a 0, tal como se muestra en la Fig. 6.

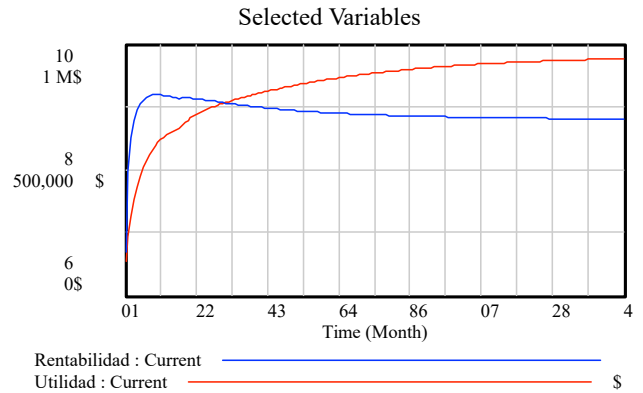


Figura 5. Utilidad y rentabilidad inicial.

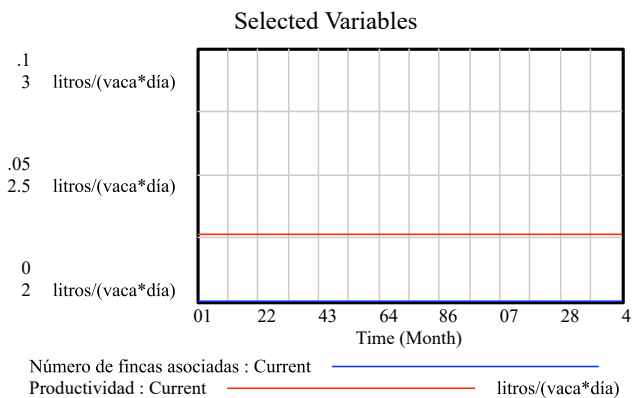


Figura 6. Productividad inicial sin asociatividad.

Bajo estas condiciones se podría decir que un pequeño ganadero no tendría posibilidades para realizar inversiones en mejoras para obtener una mayor productividad. Esto teniendo en cuenta el estudio de [11], en el cual se menciona que se necesitaría una inversión por finca de aproximadamente 4.300.000 pesos para destinarlos a mejoramiento genético con el objeto de aumentar la capacidad de producción, manejo de suelos y praderas, capacitación en mano de obra, nuevas maquinarias y equipos, entre otros aspectos.

Efecto de la Asociatividad

Se consideró la política de incrementar el número de asociados, hasta alcanzar un número de 50, para simular la viabilidad de la inversión partiendo del supuesto que esta es asumida en forma colectiva por los pequeños ganaderos; se llega así una cifra de 4300.000 de pesos por finca, la cual es absorbible por el mayor ingreso esperado a partir del tercer año [11].

Las mejoras inicialmente se realizaron en el manejo de suelos y praderas, así como en el mejoramiento genético realizando prácticas de inseminación artificial. El modelo simuló un incremento de la productividad luego del primer año, tal como se muestra en la Tabla IV y la Fig.7

TABLA IV
 VARIACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

Mes	Productividad[11] (Lt/vaca*día)	Productividad modelo (Lt/vaca(día)	Variación (%)
0	2.31	2.26	-2.16
12	2.31	2.48	7.35
24	2.31	2.74	18.61
36	2.31	2.87	24.24
48	3.26	3.46	6.13
60	3.26	3.88	19.01
72	3.26	3.88	19.01
84	3.31	3.88	17.22

Fuente: Construcción propia

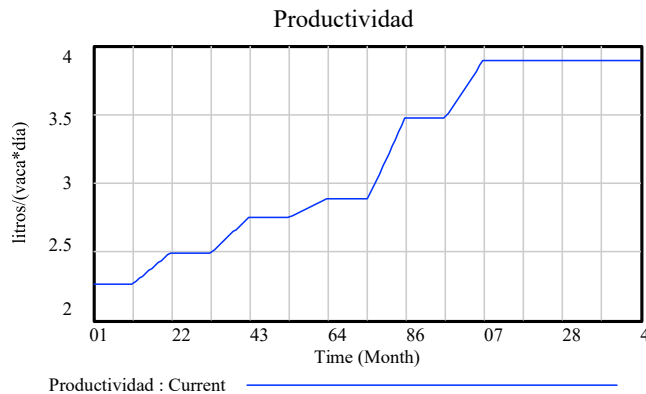


Figura 7. Productividad con influencia de la asociatividad

La variación de la productividad que presentó el modelo se encuentra 2.16% por debajo y 18.6% por arriba respecto de [11], esta situación podría explicarse porque la validación solo se realiza con dos valores de referencia de la productividad como se muestra en la tabla. El modelo muestra un aumento en la productividad de 2.26 hasta 3.44 litros/vaca/día, luego de transcurrir 7 años de la asociatividad de un pequeño ganadero, rango que respecto al reportado por [11] muestra una variación 3.9%.

La productividad que podría alcanzar un pequeño ganadero se encuentra dentro del rango reportado en [8], donde los animales de doble propósito pueden producir entre 3.5 y 6.5 litros, así como el incremento a un peso de 650kg por novillo. Adicionalmente, la simulación mostró incremento en las utilidades y a su vez una mejora en la rentabilidad del negocio, como se muestra en la Fig. 8.

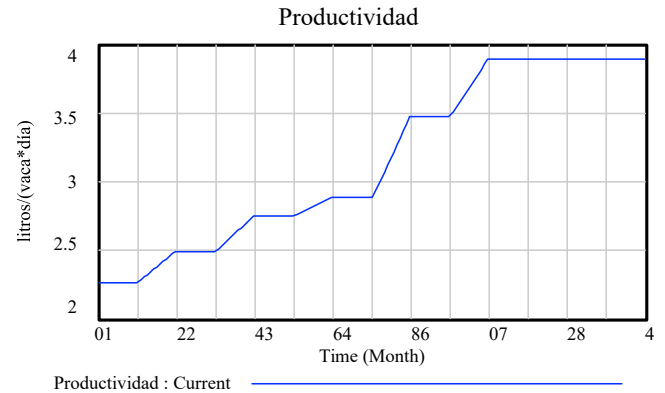


Figura 8. Tendencia de la utilidad y rentabilidad de un pequeño ganadero asociado.

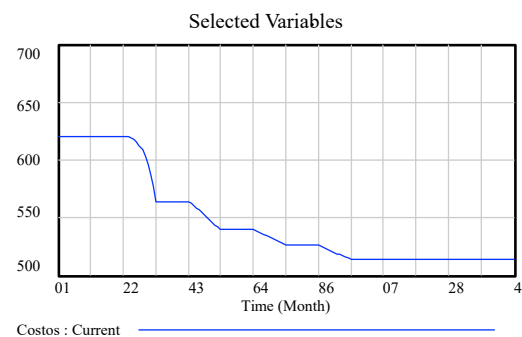


Figura 9. Tendencia de los costos de un pequeño ganadero asociado.

V. CONCLUSIONES

Bajo el análisis puntual de la asociatividad sobre la productividad, se observó que el modelo representa un crecimiento en la productividad del pequeño ganadero una vez este logra asociarse. De tal manera, que una estrategia que deberían adoptar es la de asociarse para lograr mejoras es su productividad. Aspecto que se incrementaría en un 68%.

La simulación muestra que una reducción en los costos de producción incrementa las utilidades del pequeño ganadero, lo cual es logrado a través de la estrategia de asociatividad, tal como se documenta en [11].

Un pequeño productor con un hato ganadero de 10 vacas en ordeño presentaría rentabilidad con una tendencia al descenso, según los datos reportados en este estudio, en consecuencia tendría que aumentar su hato hasta una cantidad aproximada de 38 vacas y 7 terneros para mejorar la rentabilidad de sus sistema de producción de doble propósito. Lo anterior, podría incrementar la rentabilidad del negocio alrededor de un 45%.

VI. REFERENCIAS

- [1] P. Taylor *et al.*, "The Dairy Industry: A Brief Description of Production Practices, Trends, and Farm Characteristics Around the World The Dairy Industry: A Brief Description of Production Practices, Trends, and Farm Characteristics Around the World," no. October 2014, pp. 37–41, 2013.
- [2] S. Pascucci and J. Ducan, *Informal virtues and formal vices? Understanding the implications of producer organizations for pastoralists in India. In Cooperatives; Economic Democratization and Rural Development*. Edward Elgar Publishing Limited., 2015.
- [3] F. Hartwich and C. Negro, "Food safety performance in European Union accession countries: benchmarking the fresh produce import sector in Hungary," *Agribusiness*, vol. 30, no. 1, pp. 31–45, 2010.
- [4] G. Cortés, "Asociatividad campesina de pequeños productores de leche, resistencias y acciones colectivas en el libre mercado y la globalización," *Panorama*, vol. 8, no. 14, pp. 87–96, 2014.
- [5] Corporación Colombia Internacional, "Caracterización de la Comercialización de Cuatro Cuencas Lecheras," no. Cci, p. 236, 2013.
- [6] Agencia nacional de noticias, "Agencia de noticias UN - Ciencia y Tecnología," Colombia, 2012.
- [7] J. S. Roza Sanabria, "Caracterización Y Propuesta Tecnológica Para La Producción De Ganado Dobleproposito Semiestabulado Para Pequeños Productores En La Vega (Cundinamarca)," pp. 1–79, 2006.
- [8] FEDEGAN, "Análisis del inventario Ganadero colombiano Comportamiento y variables explicativas," 2013. .
- [9] DANE, "Boletín mensual Insumos y factores asociados a la producción," 4, 2011. .
- [10] D. Ritchie, C. Neves, T. Alfonso, O. Begazo, I. Luna, and J. Uribe, *Ganadería de doble propósito: propuesta para pequeños productores colombianos*. 2013.
- [11] D. Ritchie, C. Neves, T. Alfonso, O. Begazo, V. I. Luna, and J. Uribe, *Ganadería de doble propósito: propuesta para pequeños productores colombianos*. 2013.
- [12] J. Cortés, A. Cotes, and J. Cotes, "Structural features of dual- purpose cattle production system in the Colombian humid tropic," *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.*, vol. 25, no. 2, pp. 229–239, 2012.
- [13] D. Fajardo and H. Salgado, "El Acuerdo Agrario," Primera Ed., Ediciones Aurora, Ed. Colombia, 2017, p. 74.

Garavito.

Enrique Estupiñán Escalante. Ingeniero Electricista de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. M.Sc. Communication Technology de Ulm University, Alemania. Master en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de los Andes. Profesor Asociado de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

VII. Autores

Darwin Antonio Baquero Sandoval. Especialista en Administración y Gerencia de Sistemas de Calidad e Ingeniero Industrial. Actualmente se encuentra estudiando la Maestría en Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión Integrada en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Hace parte del proyecto de investigación gestión del riesgo usando dinámica de sistemas, un enfoque para toma decisiones gerenciales y tácticas en los sistemas de gestión.

Luz Angélica Rodríguez Bello. Ingeniera Industrial de la Universidad Distrital, Ph.D. (candidate) Industrial Ecology and Sustainability, Erasmus University, Netherland. M.Sc. Environmental Management and Policy, Lund University. Especialista en Informática Industrial, Especialista en Aseguramiento de la Calidad, Profesor Asociado de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio

Modelo dinámico para la planeación del abastecimiento de equipos en la industria oil & gas

Walter Fernando Becerra Fernández, Mauricio Niño Suárez - Stork Technical Services Holding B V Sucursal Colombia.
Adriana Marcela Becerra Fernández, Mauricio Becerra Fernández - Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería,
Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.
Olga Rosana Romero Quiroga - S.A. Bogotá, Colombia

Resumen - En este artículo se plantearon las etapas en la simulación de un modelo dinámico para la planeación del mantenimiento y su adecuado abastecimiento de materiales para la industria de oil&gas. Para el modelo utilizado se emplearon escenarios aplicando la ponderación del comportamiento de diferentes variables involucradas, donde se busca alinear el proceso al enfoque de la gestión del mantenimiento en la industria petrolera, tomando el modelo estructural de los diagramas de stock-flujo, para los escenarios construidos bajo la simulación con el propósito de observar su comportamiento, proyección y mitigar los impactos de producción en el tiempo.

Palabras claves - Oil&Gas, modelo de planeación, dinámica de sistemas

Abstract - In this article the phases involved in the simulation of a dynamic model for maintenance planning and adequate supply of materials for the oil&gas industry. The model used scenarios applying the behavioral weighting of different variables involved, where it is sought to align the process to the maintenance management approach in the oil industry, taking the structural model of the stock-flow diagrams or Forrester, the scenarios constructed under the simulation to observe their behavior, projection and mitigate the impacts of production over time.

Keywords - Oil & Gas, system dynamics, planning modeling

I. Introducción

En la última década, el sector de hidrocarburos se ha convertido en uno de los más dinámicos e importantes del país. El PIB del sector pasó de \$17,8 billones en el año 2000, a más de \$27,1 billones en el 2014. Es decir, creció en más de \$10 billones durante 14 años [1]. Pero el dinamismo del sector se ha visto afectado desde mediados de 2014, el sector minero-energético ha enfrentado una marcada reversión en sus precios. En efecto, a principios de 2016 estos alcanzaron mínimos de US\$28 por barril (frente a los precios superiores a US\$100 por barril observados durante el período 2010- 2014), en parte, como consecuencia de la sobreoferta mun-

dial de crudo.

El sector de hidrocarburos está compuesto por 486 empresas que se dedican al conjunto de actividades económicas relacionadas con la extracción, transporte, refinación o procesamiento y comercialización de los recursos naturales no renovables conocidos como hidrocarburos (material orgánico compuesto principalmente por hidrógeno y carbono), que se dividen en cinco subsectores: (i) extracción de petróleo crudo y gas, (ii) derivados del petróleo, (iii) transporte de petróleo por tubería (iv) ingeniería y (v) comercio. Esta agrupación sectorial se realizó teniendo en cuenta el tipo negocio de las empresas y su cadena de valor. Es común encontrar que para realizar las actividades del sector y por su misma rentabilidad las empresas construyen y mantiene sus infraestructuras necesarias para el negocio, sistemas de generación, extracción, redes de distribución, redes de telecomunicaciones, transporte, etc., Estas actividades se enmarcan dentro de un sistema de procesos, cuya función consiste en reparar, ajustar, modificar y reemplazar los componentes de sus activos [2].

II. Elementos iniciales para la aplicación del modelo

Basados en el modelo estructurado en la dinámica de sistemas para la industria (oil&gas), en [3] encontramos una investigación donde se presentan la metodología y resultados de problemas asociados con el desempeño (performance) de equipos, sistema o proceso de las plantas o instalaciones de producción de la industria petrolera, a través de su ciclo de vida cuando cambia el contexto operacional en el tiempo, empleando un simulador dinámico de procesos como herramienta, donde las variables interactúan en tiempo y costo, obteniendo un impacto importante en ahorros de tiempo y esfuerzo durante la toma de decisiones ante cambios en los contextos de operación de los procesos.

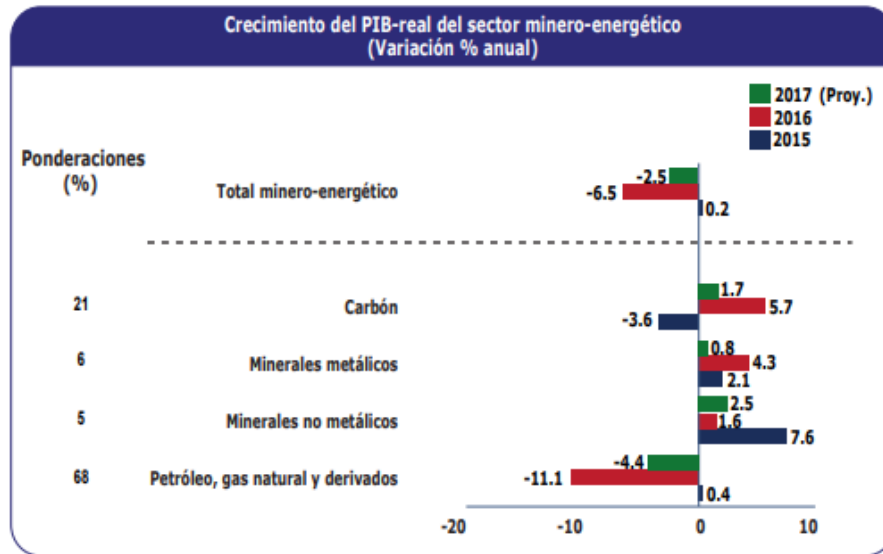


Figura No. 1. Crecimiento del PIB-real del sector minero-energético
Fuente: cálculos ANIF con base en DANE 2016 [2].

En la misma estructura, en [4] se muestran los resultados de una propuesta de investigación acerca de si el uso del modelado y la simulación pueden contribuir en la comprensión de los fenómenos físicos asociados a la producción de pozos petroleros, donde el modelo contribuye. El uso de micromundos, con modelos de simulación dinámica contribuye para mejorar la percepción de los fenómenos físicos, como la variación de la presión en un pozo petrolero y la declinación de la producción.

El dinamismo del sector permite realizar diferentes ejercicios con el propósito de generar acciones de mejora en diferentes países, es el caso presentado en [5] para Argentina donde se obtiene información proveniente de la dinámica en sistemas, a partir de los distintos organismos públicos y trabajo de investigación, se establece un esquema de influencias que permite determinar las variables más importantes del mercado y su posible comportamiento y relación, manejando esquema de influencias, identificando los loops de retroalimentación y analizando como es el funcionamiento de las variables estratégicamente ingresadas y sus interrelaciones, nos permite entender el comportamiento del modelo a través del tiempo.

La Implementación de herramientas que mejoran las operaciones en la industria petrolera, inducen eficiencia en la capacidad instalada en las facilidades, en [6] se muestra frente al agotamiento de los grandes campos en México, existe la alternativa de ampliar las operaciones en los campos maduros. Como parte de la estrategia para elevar la producción de petróleo, se propone emplear la metodología de Operación y Mantenimiento (O&M) para elevar la producción de petróleo en campos maduros.

La tasa de producción debe estar alineada al modelo con el propósito de mitigar los impactos a pérdidas por fallas propias del mantenimiento y a la falta de explotación de los pozos productores,

en [7] se expresa el decline de las cuencas corresponde con un comportamiento de tipo exponencial y que los principales factores que frenan el crecimiento del PIB petrolero son: la tasa de declinación de los yacimientos, la intensidad y efectividad del método de recuperación secundaria y el éxito de los nuevos proyectos.

En [8] se presenta la dinámica de sistemas como una herramienta complementaria al modelaje tradicional utilizado en el Gerenciamiento de Proyectos, demostrando su aplicabilidad por medio de la validación en el área de proyectos de pozos exploratorios de una compañía petrolera, por medio de la integración de la metodología de gestión de proyectos y la dinámica de sistemas se convierten en una alternativa útil para realizar un análisis sistémico del proceso de gerenciamiento de proyectos de pozos exploratorios y de esta manera tomar decisiones a nivel estratégico y táctico.

El Impacto generado en el mantenimiento de equipos aplicando la simulación permite en [9] la actualización en los procesos de operación y mantenimiento en la industria, para la cual en los últimos años el mantenimiento se ha convertido en un factor importante para la gestión de la operación. El mantenimiento productivo total como enfoque para mejorar el mantenimiento se ha desarrollado como uno de los conceptos de fabricación más populares.

En la industria estudiada se genera producción en barriles de crudo y gas, de este último se atiende el mercado nacional en Colombia y otra parte es utilizada en la reinyección de los pozos para extraer crudo, en [10] se genera una versión preliminar de dinámica para el modelo de demanda de gas en el departamento de Antioquia, el trabajo contiene la caracterización del mercado del gas natural en Antioquia, así como la aplicación de la dinámica de sistemas para modelar el consumo de gas natural en la región.

[11] considera las bases para realizar estudios de situaciones par-

ticulares o de un proyecto completo. Conocer de antemano el impacto dado por el cambio de una variable permitirá tomar medidas de mitigación y optimizar el objetivo del proyecto.

En el sector energético en [12] se estudian estrategias para brindar soluciones orientadas a un desarrollo sustentable, el modelo presentado en su etapa conceptual se completa con la recolección de información de las variables involucradas sobre los consumos y disponibilidades de energía del sistema en estudio y necesarias para resolver el modelo estructural de los diagramas las ecuaciones diferenciales con la simulación.

III. Hipótesis dinámica

Con el desarrollo de un modelo adecuado para el abastecimiento de materiales por la demanda originada de los mantenimientos planeados o aquellos ocasionados por probables fallas que pueden aparecer en un intervalo de tiempo en medio del mantenimiento proyectado a 3 años o más, propias de la industria en los equipos instalados en planta, los modelos de parametrización por máximos y mínimos empleado actualmente no se ajustan con los requerimientos del sector oil&gas, generando aumento en el inventario e incrementando el costo operacional de las bodegas, ya que el ciclo de producción debe estar alineado al modelo de abastecimiento. Por lo anterior, se busca contrastar la hipótesis dinámica que considera que: ¿al planear el abastecimiento de materiales para el mantenimiento y disponer de un adecuado stock de seguridad por medio del modelado con dinámica de sistemas, se mejora el desempeño y eficiencia de los equipos para obtener los niveles requeridos de producción, mitigando los impactos generados por las pérdidas que se puedan originar por medio del desabasto y alcanzando un adecuado retorno de la inversión?

IV. Metodología

El propósito de la metodología implementada, es determinar la hipótesis objeto de esta investigación y generar el diseño del modelado que supla de modo apropiado el sistema, reconociendo los elementos indispensables para su ejecución operativa y medición (ver figura 2). El modelo utilizado en esta investigación se realizó por medio del software Vensim, apoyados por otros softwares como SAP y Excel, a partir de la información obtenida en la operación y mantenimiento de una industria del sector oil&gas.



Figura No. 2. Metodología
Fuente: esta investigación.

Es esencial en esta instancia presentar el caso de estudio y posteriormente conocer el modelo propuesto para la solución al problema, siguiendo cuatro etapas:

4.1 Formulación del problema

Uno de los mayores retos en la industria oil&gas es la reducción de los costos operacionales, dado el panorama actual del sector donde la producción de hidrocarburos y gas se encuentra en los niveles más bajos registrados durante los últimos años (ver figura 3).

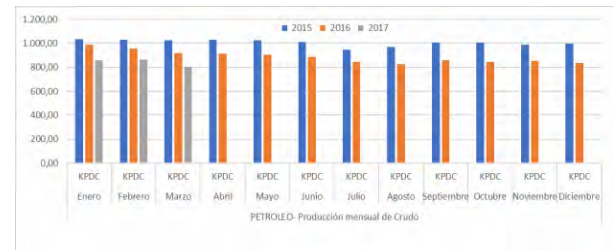


Figura No. 3. Producción mensual crudo Colombia Fuente: Ecopetrol; Ministerio de Minas y Energía; ANH KPDC: Miles de barriles por día calendario

los costos asociados a la operación y mantenimiento en la industria oil&gas, mantienen una tendencia de crecimiento, con el propósito de conservar políticas y procesos de confiabilidad en el desempeño de los equipos, lo que implica la innovación y desarrollo en procesos que propicien permanentemente nuevos proyectos. En este aspecto la industria nacional carece de importantes avances y esto obliga a acudir a proveedores internacionales, que son quienes suministran gran cantidad de los recursos físicos necesarios para las operaciones. Esta realidad exige que el proceso logístico en importaciones se desarrolle con lead times óptimo.

Sumado a lo anterior se está presentando un crecimiento en los costos logísticos asociados a los inventarios, donde los niveles de stock han incrementado paulatino, debido a la estructura actual del

modelo y políticas de inventario utilizados para el abastecimiento de materiales, en donde no se está considerando la reducción de la producción.

4.2 Identificación de componentes

La industria del petróleo y en general de los hidrocarburos se caracteriza por una alta especialización en equipos y materiales. Los componentes objeto del estudio inicial corresponden a equipos con mayor impacto en la producción.

4.3 Ejercicio y verificación de hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se modela considerando las variables del proceso, identificando los bucles y el flujo del proceso.

4.4 Ejecución del modelo

Empleando herramientas dinámicas para el modelado, por lo cual el software vensim nos permite realizar la modelación del proceso, para el análisis de los resultados preliminares.

V. 5. Diagrama Causal

En el modelo propuesto se observa la existencia de bucles, cada uno de ellos permite detallar una parte de la condición de abastecimiento de materiales para el mantenimiento de equipos en el sector oil&gas, buscando así el aprovechamiento de los recursos. Los bucles

identificados se muestran en la figura 3 y se describen a continuación:

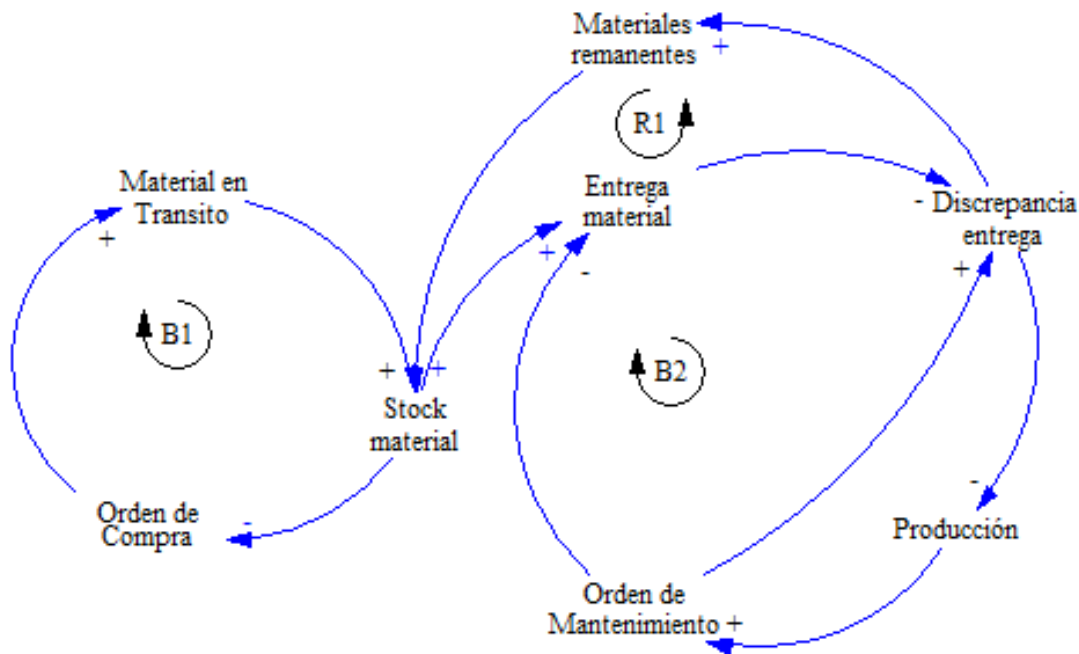


Figura No. 3. Diagrama Causal.
Fuente: esta investigación.

- En el flujo de realimentación para el stock de materiales que se observa en el bucle B1 de balance, en el cual su propósito es el proceso de abastecimiento mediante la generación de órdenes de compra y la optimización en el stock de materiales mediante los remanentes obtenidos en el bucle R1 de realimentación por la discrepancia en la entrega para la ejecución de las órdenes de mantenimiento.
- El en bucle B2 de balance, busca el abastecimiento de materiales para la ejecución de las órdenes de mantenimiento, basados en la demanda propia del mantenimiento para la gestión de los activos.
- En este sentido, observamos que la variable stock de materiales se ve afectada directamente por la discrepancia en las órdenes de mantenimiento donde encontramos que está constituida en gran parte por la demanda establecida para la generación en cada una de las órdenes, generando un aumento en el stock y disminuyendo las órdenes de compra.

VI. Modelo propuesto

El modelo se enfoca en el abastecimiento de materiales y/o repuestos necesarios para el mantenimiento de los equipos instalados en una facilidad de oil&gas generando elabastecimiento adecuado de materiales, en un tiempo de 12 meses, buscando minimizar los impactos por pérdidas de producción y así generar rentabilidad al negocio (ver figura 4). Las principales

variables que intervienen en el modelo se describen en la Tabla 1.

Variable	Valor inicial	Unidad
Producción	6210	mmscfd/Month
Costo por orden de compra	12.5	dolares/orden
Equipos inicial	1	maquina
Punto de reorden	80	unidades
lead time proveedor	2	Month
Costo material remanente	664	dolares/unidades
porcentaje de variación	0.1	Dmnl

Tabla No. 1. Principales variables del modelo.
Fuente: esta investigación.

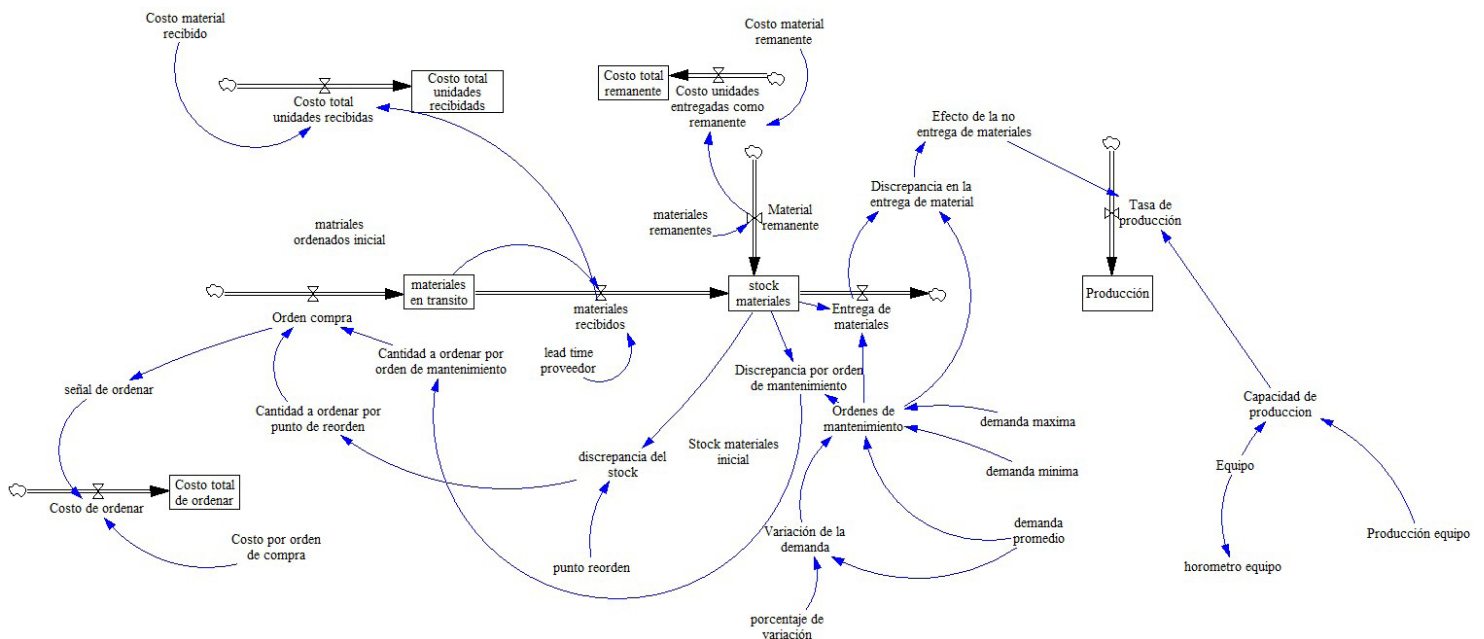


Figura No. 4. Diagrama de flujos y niveles
Fuente: esta investigación.

VII. Resultados preliminares

VIII.

Por medio del modelo se logra observar el comportamiento de la demanda, con relación a la proyección y ejecución de las órdenes de mantenimiento representando los niveles de producción, el cual permite evidenciar que su comportamiento es inversamente proporcional en un horizonte de tiempo establecido y de acuerdo a esa información se analiza una planeación conjunta para dar respuesta a lo requerido en el modelo, donde el abastecimiento encuentra un balance y que este balance se mantenga en el tiempo. Su limitación origina que al tener bajos niveles de stock no se puede ejecutar el total de las órdenes, reduciendo la disponibilidad y eficiencia de equipos, aumentando los impactos por pérdidas y disminución en los objetivos de producción (ver figuras 5).

Es fundamental observar que las órdenes de mantenimiento se encuentren alineadas con la entrega de materiales en el tiempo establecido o proyectado, ya que de este modo se origina una correlación eficiente en la consecución del resultado requerido en el modelo (ver figuras 6).

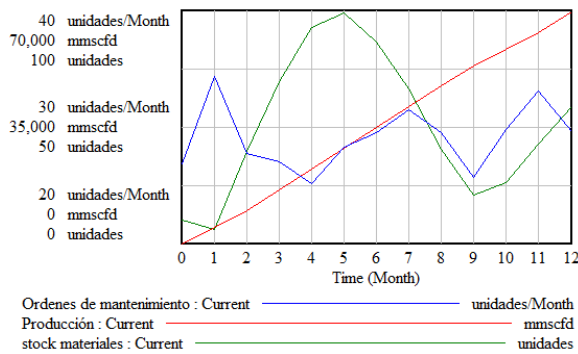


Figura No. 5. Desempeño del modelo para mantener la tasa de producción.
Fuente: esta investigación.

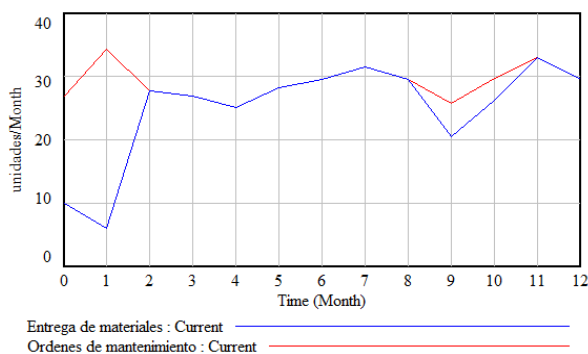


Figura No. 6. Desempeño del modelo para el abastecimiento de materiales.
Fuente: esta investigación.

IX. Conclusiones

El modelo planteado es la oportunidad para tener una herramienta útil en la industria oil&gas dentro del abastecimiento de materiales para la operación y el mantenimiento, además sus formas de aplicación permiten acceder al desarrollo

sustentable en el tiempo, presentando una estructura en la mecánica del ejercicio de forma dinámica que tolera los ajustes a los procesos en la base de sostenibilidad. El enfoque de la actividad genera el mejoramiento en el modelo de abastecimiento, propio de la operación y optimización de los recursos minimizando los sobrecostos.

La naturaleza dinámica del proceso de modelado de la demanda de materiales para la ejecución del mantenimiento es una ventaja que permite analizar los vínculos causales entre los componentes del sistema y su realimentación, el reconociendo al resultado de las diferentes situaciones propias en los sistemas reales, pues reacciona bien ante condiciones cambiantes, de hecho, promueve el desarrollo hacia los objetivos referentes al aumento de la eficiencia de los equipos, mitigando así los impactos por pérdidas de producción.

En esta investigación, a través del desarrollo y uso del modelo de dinámica de sistemas, es posible planear la proyección del mantenimiento, examinando la variabilidad de la demanda y jerarquización de los equipos con el propósito de generar órdenes con los materiales requeridos para su ejecución, ante procedimientos que depende de circunstancias del entorno mismo de la industria, como la disponibilidad de recursos, los precios actuales del mercado o el desarrollo en la infraestructura de la capacidad instalada de las facilidades, tiempos de entrega, dentro de otros componentes, que al ser modelados bajo la proyección de los recursos faciliten la toma de decisiones, ante el ejercicio derivado de la simulación, pretendiendo aumentar la tasa de producción y así condicionar los altos niveles de stock, originando estrategias en busca de los objetivos planteados, trabajando por la eficiencia operacional promoviendo relaciones de colaboración y aplicando las mejores prácticas.

A partir de estas mejores prácticas relacionadas con la planeación, se aporta en las industrias a reducir la variabilidad y estar mejor preparados para responder eficientemente a un mercado dinámico, donde los procesos y políticas de inventarios estén alineados. La crisis actual del sector genera que los costos operacionales de mantener un alto inventario, atenta contra la rentabilidad del negocio, lo que presenta una oportunidad para el desarrollo de nuevos procesos y modelos que estén orientados a los objetivos requeridos.

X. Trabajos Futuros

Continuando con el uso del lenguaje de simulación, el cual permite avanzar en el comportamiento dinámico del sistema, implementando e incorporando procesos de colaboración más robusto que desarrollen la optimización en las operaciones al generar variables de nivel y flujos ordenados con lo cual es probable aumentar el campo de acción para los tipos de mantenimiento que se utilizan, hallando así los planeados (Major overhaul – Top overhaul), predictivos, a condición y correctivos, de donde se derive el abastecimiento conforme al desarrollo para cada una de estas actividades propias de la gestión de activos, que surgen de los hallazgos del ejercicio de modelado y ajustados a los niveles de producción para los objetivos requeridos, evitando pérdidas debido a la adaptación que se van implementado en el modelado, asociados a los costos de producción y rentabilidad del negocio (lifting cost).

XI. Referencias

[1] S. D. SOCIEDADES, «DESEMPEÑO DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS,» Junio 2015. [En línea]. Available: <http://www.supersociedades.gov.co/noticias/Documents/2015/EE1-%20Informe%20hidrocarburos%20final-%202015%20VII%206.pdf>.

[2] S. Clavijo, «Sector Minero-Energético: Desempeño 2016 y Perspectivas 2017,» 15 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://www.anif.co/comentario-economico-del-dia/sector-minero-energetico-desempeno-2016-y-perspectivas-2017>.

[3] R. Melo-González, C. López-Sánchez, C. Camacho-Gamboa, A. Esparza-Lagunes y R. Villa-Domínguez, «Simulación dinámica de sistemas, una herramienta para el análisis del desempeño de sistemas y procesos en la industria petrolera: Metodología y resultados,» Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, p. 62, 2012.

[4] F. E. C. G. F. R. D. Eliécer Pineda Ballesteros, «EL MODELADO Y SIMULACIÓN PARA LA COMPRENSIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE POZOS PETROLEROS,» Revista de Investigaciones UNAD; Volumen 8, p. 23, 03 Abril 2009.

[5] M. E. Olea Rodríguez y K. L. Rivera Alanya, «Simulación del mercado argentino de petróleo y combustibles líquidos,» 189 2014. [En línea]. Available: <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/2463>.

[6] D. R. R. Héctor Ramón Jiménez Martínez, «Metodología de operación y mantenimiento (O&M) de pozos, para optimizar la explotación de campos maduros,» Ingeniería Petrolera;

VOL. 56; , p. 13, Abril 2016.

[7] N. B. Y. R. José Contreras, «Análisis de los determinantes del Crecimiento del VA Petrolero mediante un modelo de dinámica de sistemas,» de Análisis de los determinantes del Crecimiento del VA Petrolero mediante un modelo de dinámica de sistemas, Caracas, Gerencia de Comunicaciones Institucionales, BCV, 2016, p. 29.

[8] M. R. S. MARROQUÍN, «DESARROLLO DE UN MODELO PARA EL DISEÑO Y GESTIÓN DE OPERACIONES LOGÍSTICAS EN POZOS EXPLORATORIOS BASADA EN LA APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS,» 2010. [En línea]. Available: <http://docplayer.es/15694130-Desarrollo-de-un-modelo-para-el-diseno-y-gestion-de-operaciones-logisticas-en-pozos-exploratorios-basada-en-la-aplicacion-de-la-dinamica-de-sistemas.html>.

[9] J.-H. Thun, «Modelling Modern Maintenance – A System Dynamics Model Analyzing the Dynamic Implications of Implementing Total Productive Maintenance,» Industrieseminar, Mannheim University , Mannheim, Germany , 2010.

[10] E. K. A. PALACIO, «MODELAMIENTO DEL CONSUMO DE GAS NATURAL EN ANTIOQUIA UTILIZANDO UN MODELO DE DINAMICA DE SISTEMAS,» Diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/39779/1/98638603.2014.pdf>.

[11] F. P. Germán Snaider, «Análisis de proyectos de ingeniería con tareas en paralelo,» Boletín de Dinámica de Sistemas, p. 7, 2006.

[12] I. A. R. T. P. Rosana M. Portillo, «Modelo Dinámico para el Estudio de la Situación Energética en la Ciudad de Santa Fe,» X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas , p. 12, 2012.

XII. Autores

Stork Technical Services Holding B V Sucursal Colombia:

Walter Fernando Becerra Fernández - walter.becerra@stork.com

Mauricio Niño Suárez - mauricio.nino@stork.com

Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia:

Adriana Marcela Becerra Fernández - ambecerra49@ucatolica.edu.co

Mauricio Becerra Fernández - mbecerra@ucatolica.edu.co

S.A. Bogotá, Colombia:

Olga Rosana Romero Quiroga - olga.romero@suppla.com

Deuda Pública Y Posconflicto

Fernando Antonio Arenas Guerrero
Mauricio García Quintero
Lina Marcela Murcia Manrique

Resumen— El documento que se desarrollara a continuación, contextualiza el estado de la deuda pública en Colombia y propone una dinámica que la relaciona con el componente económico de la reciente firma del acuerdo de paz. Este estudio pretende saber si los beneficios económicos que trae la firma del acuerdo de paz lograrán compensar, a corto y largo plazo, la inversión inicial del mismo y a su vez generarán un crecimiento económico que disminuya el déficit fiscal en el que se encuentra el país. Para ello, se realizó un modelo de simulación basado en dinámica de sistemas que permitirá visualizar el comportamiento de diferentes variables de interés y así mismo hacer proyecciones y sacar conclusiones basándose en los resultados arrojados.

I. INTRODUCCION

La evolución de las finanzas públicas colombianas ha ido encaminada hacia un estado de déficit permanente que se ha visto agravado en los últimos años, principalmente, por la caída del precio del petróleo [1]. Teniendo en cuenta los diversos cambios sociales y estructurales que se presentaron en el país y en el mundo en general, la deuda pública ha ido evolucionando y creciendo con el paso de los años hasta llegar al estado en el que se encuentra actualmente. Para el caso del Gobierno Nacional Central Colombiano (GNC) esta representaba, en el año 2015, alrededor del 41.4% del Producto Interno Bruto (PIB), y según [2], nuestro país se ubica hoy como la cuarta economía más grande de América Latina, pero está en los primeros lugares en los que más deben.

Si se quisiera saldar la totalidad de la deuda pública, para el año 2015, cada colombiano independientemente de su género, edad o condición económica debería disponer de aproximadamente \$7,5 millones de pesos colombianos, lo que permite entender la magnitud que esta cifra representa [3].

Por otra parte, el reciente acuerdo de paz, firmado en el 2016 entre el Gobierno Nacional Colombiano y las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), implica un compromiso financiero importante. Según [4], el cumplimiento de los compromisos pactados en el acuerdo de paz tendrá unos costos difíciles de estimar, sin embargo, se calcula una inversión aproximada entre 2% y 5,2% del PIB anual durante cinco años, para fondos destinados a la transición de víctimas y victimarios de la guerra a la vida civil.

Existen innumerables opiniones sobre la viabilidad financiera del posconflicto y su aporte neto a la deuda pública, además de que no

se conocen estudios completos, por lo reciente del acontecimiento, que recojan todas las variables que giran en torno a la problemática y las enmarquen dentro de la situación fiscal actual de la Nación, siendo esta la motivación para el desarrollo de este estudio, cuyo propósito es la elaboración de un modelo de simulación que integre el componente económico del acuerdo de paz con las finanzas públicas colombianas.

Por esta razón, se considera pertinente el desarrollo de este estudio, ya que por medio de la dinámica de sistemas se desarrolla un modelo de simulación que permite integrar variables cuantificables que involucran deuda pública y costos y beneficios del acuerdo de paz y que permite visualizar un posible panorama general del futuro económico del país. Adicionalmente, el modelo permite realizar proyecciones en un periodo de tiempo determinado y bajo diferentes escenarios.

II. METODOLOGIA

2.1 Modelamiento cualitativo de variables claves en un diagrama causal:

En la figura 1 se muestra la dinámica básica de acumulación que hay detrás de la *deuda pública*, la cual sigue la lógica de un ciclo reforzador.

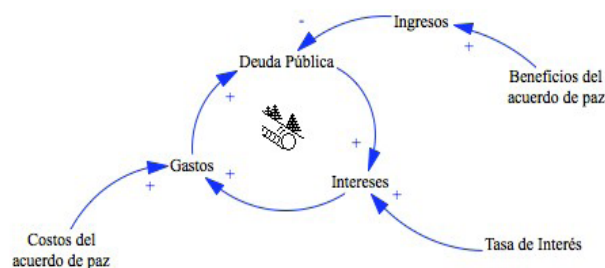


Figura 1. Diagrama causal de las variables clave del modelo.
Fuente: Autores.

La *deuda pública* es determinada, por un lado, por los *gastos* en los que incurre el GNC, los cuales al incrementarse aumentan la cantidad de *deuda pública* contraída, lo cual provoca que los *intereses*, calculados a una *tasa de interés*, también se incrementen.

Los *intereses* de la deuda son un rubro importante dentro de los *gastos* fiscales por lo que su incremento representa un aumento en los *gastos*, cerrando el ciclo y creando un espiral negativo.

Por otra parte, la *deuda pública* también depende de los *ingresos* del GNC y un aumento de estos significaría una disminución de la misma, que siguiendo el ciclo reforzador

crea un espiral, solo que en este caso positivo. Es en la interacción de estos dos efectos, y dependiendo de si la magnitud de los *gastos* o *ingresos* es mayor, que se puede evaluar la sostenibilidad de la *deuda pública*, pues un desbalance en cualquiera de los rubros crea un efecto en cadena.

2.3 Dinámica del modelo desarrollado en VESIM PLE:

Finalmente, el posconflicto trae *costos* y *beneficios* del acuerdo de paz en materia financiera, que impactan ambos componentes determinantes de la deuda pública y alteran el balance y sostenibilidad de la misma.

2.2 Formulación y descripción de las variables del modelo:

El modelo de simulación de deuda pública y posconflicto está compuesto tanto de variables endógenas, con ecuaciones incluidas dentro de la estructura del modelo, como de variables exógenas determinadas por valores resultantes de investigaciones e hipótesis de diferentes fuentes bibliográficas consultadas.

Las variables clave se describirán a continuación:

Variables exógenas:

- Crecimiento adicional del PIB por el posconflicto*: Esta variable hace referencia al crecimiento adicional que se espera que tenga el PIB como consecuencia del acuerdo de paz. Es uno de los parámetros susceptibles de modificación, tomando valores entre 0,5% y el 4% según [5], [6] y [7].
- Crecimiento PIB (+, -)*: Corresponde al crecimiento natural del PIB del país en dos escenarios, crecimiento desacelerado (+) y acelerado (++)
- Costos del acuerdo de paz*: Incluyen los costos inmediatos de implementación del acuerdo y los costos de sostenibilidad. Estos son estimados por [4].
- Reforma tributaria*: Representa el ingreso extra que el GNC, espera recaudar y que entrara en vigor desde el 2017.
- Gasto militar objetivo*: Este gasto representa el promedio del gasto militar para América Latine y el Caribe, entregado por el Banco Mundial. Es importante teniendo en cuenta que Colombia realiza grandes inversiones en este rubro y se espera poder reducirlas, las menos, a este promedio.

Las variables endógenas serán expuestas en el siguiente apartado donde se explica como son determinadas dentro de la dinámica del modelo.

Figura 2. Modelo de simulación adaptado en Vensim PLE. Fuente: Autores

En la figura 2 se expone el modelo completo de simulación del cual se identifican tres dinámicas importantes:

La primera de estas hace referencia al cálculo del gasto militar, su reducción en los próximos años y el impacto que tendrá en la criminalidad, como se evidencia en la figura 3.



Figura 3. Dinámica del gasto militar. Fuente: Autores.

La *inversión militar* se verá reducida a una tasa como % del PIB que está reflejada en la variable de flujo *tasa de cambio del gasto militar*, la cual depende de dos parámetros: *Gasto objetivo* (constante) y el tiempo que se espera alcanzar ese objetivo, representado en la variable *años*. Este último parámetro servirá en el planteamiento de escenarios, pues una reducción muy rápida del gasto militar representaría un alza en la criminalidad.

Es importante resaltar, que existe un condicional en la función de la variable de flujo de manera que, si la *inversión militar* ya es menor que el *gasto objetivo*, no se siga reduciendo indefinidamente y en cambio *tasa de cambio de gasto militar* tome el valor de 0.

Por otro lado, el gasto en inversión militar será necesario para calcular la variación porcentual de ese gasto en el momento t (*% variación gasto militar*), y que será en ultimas el indicador para medir el aumento de la tasa de criminalidad por reducción en orden y seguridad pública. Sin embargo, vale la pena mencionar que, así como duplicar el gasto militar no va a reducir la criminalidad a la mitad, invertir la mitad no va a duplicar la criminalidad, por lo que se integra la variable *tasa de eficiencia del gasto militar* para medir el efecto real de la variación en inversión militar sobre la criminalidad.

La segunda dinámica que se agregó al modelo es la tasa de criminalidad, como se muestra en la figura 4.

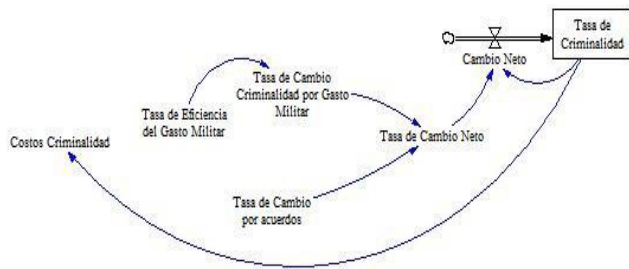


Figura 4. Dinámica de la criminalidad. Fuente: Autores.

Para tratar la tasa de criminalidad, se debe tener en cuenta que hay dos aspectos de los acuerdos que afectan a esta dinámica. Primero está el impacto, mencionado anteriormente, que tiene la reducción paulatina o acelerada del gasto militar en el orden y seguridad pública, pues hay menos control sobre acciones criminales y delitos comunes, aumentando la criminalidad, este efecto se recoge en la variable *tasa de cambio criminalidad por gasto militar*. Segundo, la disminución en violencia por el cese de actividades de las FARC, que es uno de los beneficios del posconflicto, representada en *tasa de cambio por acuerdo*, la cual se modela bajo la función PULSE, pues tendrá efecto a partir del 2017 y por un tiempo determinado en 10 años, aproximadamente.

La *tasa de cambio criminalidad por gasto militar* y la *tasa de cambio por acuerdos*, van a afectar directamente la *tasa de cambio neto*, que se define como la diferencia entre estas dos variables. El *cambio neto* es la variable de flujo que alimenta la tasa de criminalidad. Esta se calcula como la multiplicación entre la *tasa de cambio neto* y la *tasa de criminalidad*.

Por otra parte, existe la variable *valoración TC*, que se encarga de transformar la *tasa de criminalidad*, medida en tasa de homicidios por cada 100.000 habitantes, en una puntuación de Indicación de Bonos de Mercados Emergentes (EMBI por sus siglas en inglés). Para lograrlo, se toman datos históricos de ambas variables, siendo 1000 y 70 puntos de referencia máximos para el EMBI y la tasa de homicidios, respectivamente. Cabe recordarse que esta sola representa el riesgo político de los diferentes aspectos que evalúa el EMBI, por lo que existe otra variable, *calificación EMBI total*, que toma la puntuación de la *valoración TC* y le agrega 140 puntos, los cuales son la representación de los demás riesgos, considerados constantes.

La *calificación EMBI total* afecta directamente la tasa de interés que tiene dos componentes, una parte fija en 4% como el interés de los bonos del tesoro libre de riesgo de Estados Unidos más una parte variable que aporta el EMBI y esta suavizada con la función SMOOTH.

La última dinámica corresponde a deuda pública, ilustrada en la figura 5.

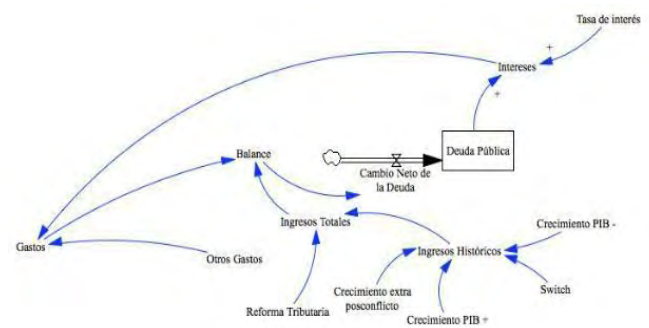


Figura 5. Dinámica de la deuda pública. Fuente: Autores.

La *deuda pública* se ve directamente afectada por el *cambio neto de la deuda*. Esta es proporcionada por el *balance*, que a su vez corresponde a la diferencia entre los *gastos* y los *ingresos totales*.

Los *gastos* se componen de los *intereses*, los *costos del acuerdo*, la *inversión militar* y *otros gastos* (variable exógena que comprende el promedio como % del PIB de los gastos realizados por el GNC en su presupuesto anual considerados constantes para efectos del modelo).

Por otra parte, los *ingresos totales* están comprendidos por la *reforma tributaria* y la variable *ingresos históricos*, la cual está definida en una tabla que relaciona el crecimiento del PIB anual con los ingresos recaudados por el GNC históricamente para dichos crecimientos.

III. RESULTADOS

La simulación se ejecutó en dos diferentes escenarios de crecimiento del PIB. El primer escenario (+) presenta un crecimiento desacelerado de la economía con valores aleatorios normales entre 1,5% y 3%. El segundo escenario (++) es para crecimiento mayores con media del 4%, que representarían ingresos superiores para el GNC. Adicionalmente, para cada uno de ellos se plantearon 3 diferentes posibilidades: alcanzar el gasto objetivo en 2, 5 y 8 años (corto, mediano y largo plazo), reflejado en la variable *años*.

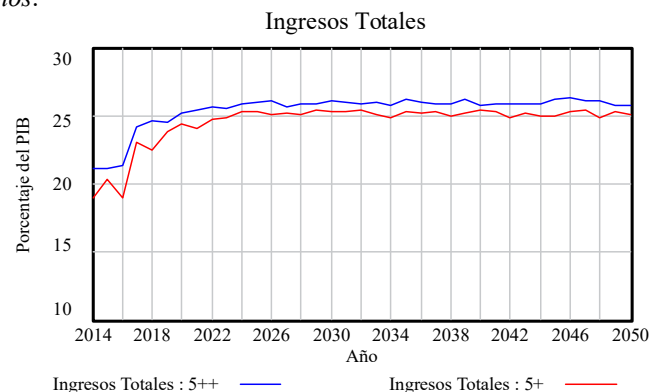


Figura 6. Comportamiento de los ingresos totales, alcanzando el gasto objetivo

en 5 años en dos diferentes escenarios del PIB. Fuente: Autores

Analizando los primeros resultados, para el caso de la figura 6, podemos observar que se espera un crecimiento mayor en el caso del crecimiento acelerado del PIB (++), frente al caso de crecimiento menos acelerado (+). Es importante mencionar que, la variable ingresos es independiente a la reducción del gasto militar, y por esta razón solo es pertinente evaluarla en el crecimiento acelerado y desacelerado de la economía y no en los cambios del gasto objetivo, se decide dejar este último en 5 años pues es el escenario propuesto que presenta los resultados con menor deuda pública.

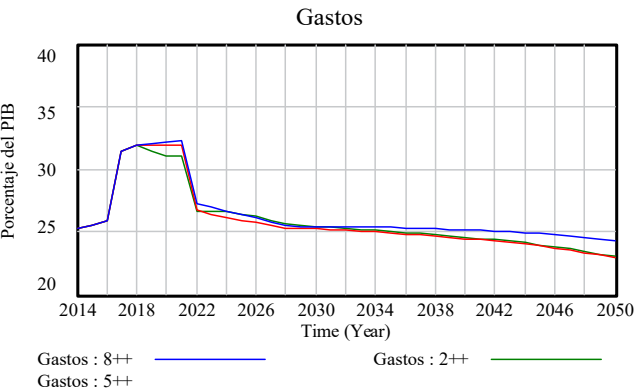


Figura 7. Comportamiento de los gastos totales, alcanzando el gasto objetivo en 2, 5 y 8 años. Fuente: Autores.

Time (Year)	2050
"Gastos" Runs:	
8++	0.242842
: 2++	0.230037
: 5++	0.229268

Tabla 1. Gastos como porcentaje del PIB al año 2050 en los escenarios de crecimiento acelerado (++)

Por otra parte, se observa en la figura 7 que los gastos en todos los años siguen el mismo comportamiento y se incrementan significativamente durante los 5 años en que se estima estarán vigentes los costos del posconflicto.

Una vez finalizado estos, los gastos tienden a estabilizarse alrededor del 23% del PIB, siendo el gasto más bajo (22,9% del PIB) cuando se toma como política alcanzar el *gasto objetivo* en 5 años, y el más alto (24,2% del PIB) cuando la política de reducir la inversión militar es drástica, solo en 2 años. Las diferencias se deben al balance que se debe encontrar entre el ahorro en el que se incurre por disminuir el presupuesto militar y el aumento de las tasas de interés producto de la dinámica de criminalidad. Sin embargo, se puede evidenciar que la diferencia entre todos los escenarios es muy poco significativa. Para los *gastos* solo es relevante analizar cuando se cambian los *años* pues el crecimiento del PIB no los afecta.

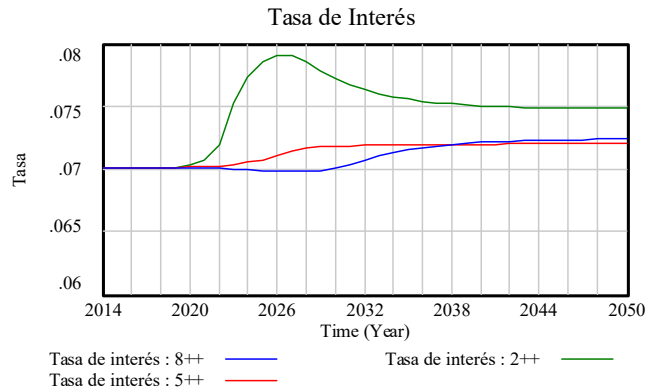


Figura 8. Comportamiento de la tasa de interés alcanzando el gasto objetivo en 2, 5 y 8 años. Fuente: Autores.



Figura 9. Comportamiento de la tasa de criminalidad alcanzando el gasto objetivo en 2, 5 y 8 años. Fuente: Autores.

La tasa de interés presenta un mayor crecimiento cuando los años a alcanzar el gasto objetivo militar es de 2 años, como es de esperarse puesto que está fuertemente ligada al aumento de criminalidad que es mayor cuando la inversión militar se recorta rápidamente. Por esta razón, vemos que la tasa de criminalidad aumenta de gran manera Enel mismo escenario.

En cuanto a las otras situaciones, 5 y 8 años, se evidencia que ambas graficas muestran valores muy cercanos uno del otro lo que lleva a pensar que si la reducción del gasto militar hasta el promedio de la región se hace a largo plazo (más de cinco años) no trae beneficios claramente visibles.

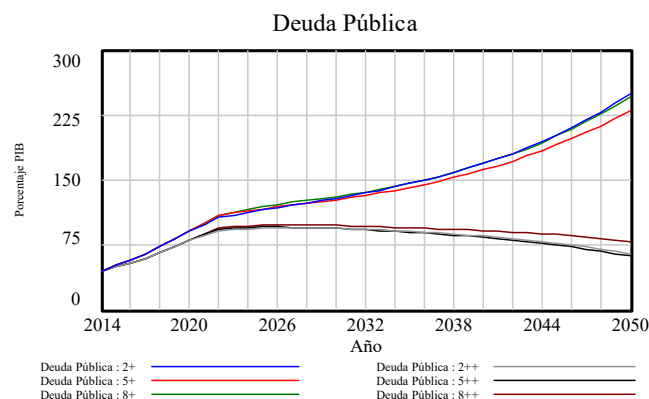


Figura 10. Comportamiento de la deuda pública alcanzando el gasto objetivo en 2, 5 y 8 años en dos escenarios de crecimiento del PIB. Fuente: Autores

Time (Year)	2050
2++	0.639098
: 5++	0.613894
: 8++	0.78554
: 2+	2.4877
: 5+	2.29896
: 8+	2.45619

Tabla 2. Deuda Pública como porcentaje del PIB al año 2050 en todos los escenarios simulados

La grafica 10 muestra los resultados de la simulación para la deuda pública. Los resultados iniciales son esperados con respecto al crecimiento del PIB, cuando es desacelerado, la deuda pública se vuelve insostenible y de crecimiento permanente.

En cambio, en un ambiente de crecimiento ++ la deuda, aumentara hasta cierto año, producto de los gatos extras del posconflicto, y luego empezara a reducirse. En cuanto al impacto que tienen los años de reducción en la inversión militar, existe una dinámica bastante interesante.

En ambos contextos el mejor resultado es el de una política moderada a 5 años, en cambio reducir el gasto objetivo muy rápido (2 años) o muy lento (8 años) no es tan positivo, pues en el primer caso, si bien se reduce el gasto militar provocando un ahorro para el GNC (rubro importante en el presupuesto de la nación), el alza en la criminalidad y las tasas de interés contrarrestan el ahorro y de presentarse un crecimiento desacelerado del PIB, es el peor escenario.

En el otro extremo, una reducción muy lenta (8 años) no es financieramente beneficioso pues sigue teniendo un gasto alto en inversión militar, el ahorro por criminalidad, a través de la tasa de interés no es suficiente. El mejor resultado es un balance que nivele ambos aspectos, y sería de gran utilidad evaluarlo en años intermedios para encontrar el ideal, donde la deuda publica presente el menor resultado.

IV. CONCLUSIONES

Si los costos del acuerdo de paz son los estimados por [4], los cuales son superiores a los presentados por el Ministerio de Hacienda en [7], el posconflicto solo es viable financieramente en un marco económico favorable, con crecimientos del PIB del orden del 4% de lo contrario, el financiamiento requerido es insostenible, aun con la reforma tributaria, pues esta última va a suplir el déficit que dejo la caída de los precios del petróleo y no cubre el posconflicto. Si el crecimiento del PIB sigue la tendencia de los últimos años es muy probable que no se pueda mantener los proyectos de sostenibilidad, sobre todo el campo, planteados en el acuerdo de paz.

Encontrar un balance en la reducción de inversión en orden y seguridad es un punto clave para el éxito no solo social sino también económico del posconflicto. Los años inmediatamente posteriores a la firma del acuerdo de paz, resultan ser importantes para la transición de la vida militar a la civil de guerrilleros y militares, y como experiencias de otros países que han atravesado este proceso, puede resultar contraproducente disminuir rápidamente el poder militar, pues les da poder a las bandas criminales emergentes (BACRIM) y pueden surgir nuevos grupos insurgentes, ilícitos y de violencia urbana.

V. REFERENCIAS

[1] Colombia, B. d. (2016). INFORME DE LA JUNTA DIRECTIVA AL. Bogotá: ISSN-1657-799X.

[2] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Estudio Económico de América Latina y el Caribe, 2015 (LC/G.2645-P), Santiago, 2015

[3] Manchengo, M. M. (16 de Julio de 2015). Por cada colombiano hay \$ 7,5 millones de deuda pública. Portafolio, pag 2.

[4] ANIF. (2016). Dividendos, Beneficios y Costos del Proceso de Paz de Colombia. Cartagena: ANIF.

[5] Departamento Nacional de Planeación. (2015). Dividendos para la paz Bogotá.

[6] Edgar Villa, J. R. (2014). Crecimiento económico, conflicto armado y crimen organizado, evidencia para Colombia.

[7] Ministerio de Hacienda (2016). Marco Fiscal de Mediana Plazo. Bogotá.

VI. Autores



Fernando Antonio Arenas candidato a PhD en dirección de empresas de la Universidad de xxx, Magister en ingeniería ambiental de la Universidad Nacional de Colombia e ingeniero químico de la misma. faarenas@icesi.edu.co



Mauricio García Quintero. Estudiante candidato al título de Ingeniera Industrial de la Universidad Icesi de Cali, Colombia. maugarquin@hotmail.com



Lina Marcela Murcia Manrique. Estudiante candidato al título de Ingeniera Industrial de la Universidad Icesi de Cali, Colombia.
linammurcia.95@gmail.com

Aplicaciones de Dinámica de sistemas: Una aproximación por medio de casos de estudio de tesis doctorales

Gabriel Mauricio Martínez T., Msc.

Ingeniero Industrial
Especialista en Ingeniería de
Producción,
MSc. in logistics and supply
chain management.
Estudiante de doctorado en
Ingeniería UNAB
Docente Asociado Universidad
Autónoma de Bucaramanga
+57 300 512 6223
gmartinez714@unab.edu.co

Efrén Romero Riaño. Msc

Ingeniero Industrial UIS,
MSc.en Ingeniería Industrial UIS
Estudiante de doctorado en
Ingeniería UNAB.
+57 301 642 7051
eromero21@unab.edu.co

Dewar Rico Bautista. Msc

Ingeniero de sistemas UFPS
Especialista en
telecomunicaciones UNAB
Magíster en Ciencias
Computacionales UNAB
Estudiante doctorado en
Ingeniería UNAB.
Investigador de los Grupos de
investigación INGAP/GRIITEM.
Docente tiempo completo
Universidad Francisco de Paula
Santander Ocaña
Ocaña, Colombia
+57 312 397 3390
dwracob@ufpso.edu.co

Resumen- La competitividad abordada desde una visión sistémica, abarca posibilidades teóricas y prácticas como la construcción de capacidades a nivel de cadena de suministro, a nivel organizacional en sistemas de innovación agrícola y a nivel entornos universitarios. El presente artículo tiene como objetivo analizar tres casos de estudio en construcción dentro del desarrollo de proyectos doctorales del área de ingeniería en Colombia. La metodología empleada para la descripción de los casos de estudio, fue el análisis bibliométrico de artículos de las bases de datos ISI WOS y Scopus y la extracción de información por medio de la técnica de análisis de contenido de los documentos seleccionados. El resultado del análisis de los tres casos, muestra la relevancia y pertinencia de conceptos, constructos, metodologías y técnicas asociadas al pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas para el abordaje de problemas contemporáneos derivados de las áreas de ingeniería.

Palabras Clave- Pensamiento sistémico, dinámica de sistemas, sistemas de innovación agrícola, Cadena de suministros, Systems thinking, systems dynamics, Smart University, supply chain management,

I. INTRODUCCIÓN

La dinámica de sistemas, el pensamiento sistémico y el desarrollo colaborativo, son metodologías para la búsqueda de entender y mejorar el funcionamiento de los sistemas. Sistemas como un todo, en los cuales la influencia de la retroalimentación hacen que tengan comportamientos impredecibles por lo cual su análisis debe iniciar desde el entendimiento de las relaciones entre las variables que los componen. Este artículo esta compuesto por tres casos de aplicación de la dinámica de

sistemas desde la perspectiva de temáticas de investigación de tesis doctorales del Doctorado en Ingeniería de La Universidad Autónoma de Bucaramanga.

El documento está organizado de la siguiente manera: Inicialmente se hace una breve introducción con respecto a la base teórica del pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas, siguiendo con la metodología de búsqueda del estado del arte, continuando con los tres casos de estudio y finalizando con las conclusiones.

II. PENSAMIENTO SISTÉMICO

La complejidad para enfrentar problemas, cada vez más diversos y con cambios rápidos que se adaptan a situaciones que se presentan, hacen que se desarrolle una línea de pensamiento que se especializa en generar aprendizaje y una visión holística al ver el mundo a través de los sistemas. Los sistemas como una representación de la naturaleza, en la cual se observa que las situaciones raramente se desarrollan individualmente, más bien tienen una historia de interconexión con otras, antecedentes que hacen que se generen reacciones causales de decisiones o situaciones previas. El continuo error de ignorar que mejorar una sola parte de un sistema puede causar consecuencias catastróficas que afecten la organización como un todo. [1]

Traer a colación la siguiente frase, atribuida a Sttaford Beer, creador de la teoría de los Modelos de Sistemas Viables (VSM),

“El propósito de un sistema es lo que hace”, lleva a cuestionar que las cosas tienen causas y consecuencias, lo que da pie a una frase de Albert Einstein, “Locura: hacer lo mismo una y otra vez y esperar que se obtengan diferentes resultados”. Cambiar tiene un costo muy grande, y organizaciones están basadas en pensamientos lineales no visualizan los efectos futuros de las acciones, por lo cual es necesario cambiar la manera de visualizar las cosas, basados en un pensamiento sistémico.

La cibernética organizacional, enfoque del pensamiento sistémico, bajo la premisa de “la ciencia de comunicación y control, en el animal y en la máquina”; analiza como los sistemas se gobiernan, se auto-regulan, evolucionan y aprenden, a partir de un modelo de sistema viable VSM que sigue el teorema de recursividad de los sistemas, el cual enuncia que en una organización recursiva, todo Sistema Viable contiene, y es contenido, por un Sistema Viable [2].

Otra metodología dentro del pensamiento sistémico, basada en el entendimiento de los sistemas complejos, es la Metodología de los Sistemas Blandos (SSM) la cual aborda situaciones percibidas de distinta manera a través de holones¹, definidos y modelados de forma tal que son un fuente de interrogantes, con lo cual se logra ganar entendimiento de la situación problema, permitiendo generar debate enfocado hacia el cambio por medio de una situación coherente y estructurada [3].

Los casos incluidos dentro de los sistemas complejos deben ser observados bajo la lupa de metodologías que se basen en la descripción clara de la situación problema a partir del análisis del sistema como un todo.

III. DINÁMICA DE SISTEMAS

Jay Forrester, creador de la dinámica de sistemas, analizó la estructura de los sistemas y definió los ciclos de retroalimentación², y retrasos causados por envíos de información. Esta metodología tiene como objetivo diseñar y construir modelos dinámicos para ser simulados a través de sistemas computacionales [4].

La dinámica de sistemas es útil para entender el comportamiento de sistemas complejos, basados en teoría de dinámica no lineal y retroalimentaciones. Desde sus inicios a tenido aplicabilidad en diversas áreas de conocimiento y en el comportamiento humano, ya que se conciben modelos para resolver problemas del mundo real de los cuales se debe aprender como funcionan internamente. Pensar en solucionar algo implica entender el problema primero, el sistema en su totalidad, pues intervenir de primera mano, es una manera de causar más problemas. En ocasiones la brecha entre la situación deseada y la situación que se percibe es lo que

define el problema y la solución de ayer puede ser el problema de mañana, a causa de la retroalimentación, ya que nuestras acciones de ahora, definen el futuro que tendremos que enfrentar.

El mundo está delineado por modelos mentales, los cuales deben ser analizados de tal manera que se logre entender su estructura y las implicaciones de sus ciclos de retroalimentación. Estos modelos mentales afectan las decisiones, lo cual indica que los estados y resultados de los sistemas no solo se ven influenciados por los ciclos de retroalimentación, sino que también son relacionadas con la manera en que se percibe el mundo y los sistemas, y de la misma manera los cambios en el mundo real pueden alterar los modelos mentales [5].

La mejor manera de experimentar decisiones es a través del modelamiento en un mundo virtual por medio de la simulación, ya que puede resistir resultados con efectos catastróficos sin afectar el mundo real. El principal problema de las simulaciones es que al ser parte del mundo virtual las personas que las usan tienden a jugar mucho más que pensar, y por lo general no toman el tiempo necesario para analizar los resultados obtenidos, por lo cual, en el caso de simular, es indispensable que las personas que toman las decisiones hagan parte del diseño del modelo, articulando los asuntos, seleccionando los límites y horizonte, con el fin de que se tengan claros los objetivos y se garantice que el modelo imita de manera apropiada al mundo real.

Esta metodología va a tener protagonismo en el desarrollo de este artículo al ser la base para la creación de modelos que manejen la complejidad.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

La revisión documental se realizó en revistas de alto impacto publicadas en las bases de datos SCOPUS, SCIENCE DIRECT, IEEE, ISI, WOS. (ver figura 1 y 2).

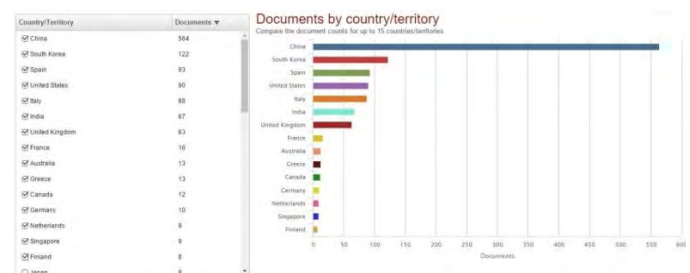


Fig.1. Documentos por país. Fuente: SCOPUS

¹ Las más relevantes perspectivas y propósitos que delinean al mundo real.

² Existen dos tipos de ciclos de retroalimentación, positivos y negativos. Los ciclos positivos de retroalimentación refuerzan lo que esté sucediendo en el sistema, los negativos hacen una contrafuerza o se oponen a los factores de cambio que se presentan en el sistema.



Fig. 2. Documentos por autor. Fuente: SCOPUS

Como criterios de búsqueda, se incluyeron los descriptores propios de cada proyecto, por ejemplo: “IoT”, “Smart campus”, “Smart cities”. Estos descriptores fueron combinados de diversas formas al momento de la exploración con el objetivo de ampliar los criterios de búsqueda [6], (ver figura 3).

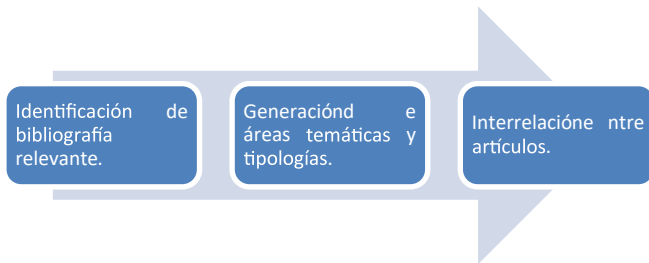


Fig. 3. Proceso estructurado de revisión bibliográfica. Fuente: Elaboración propia.

• Identificación de bibliografía relevante

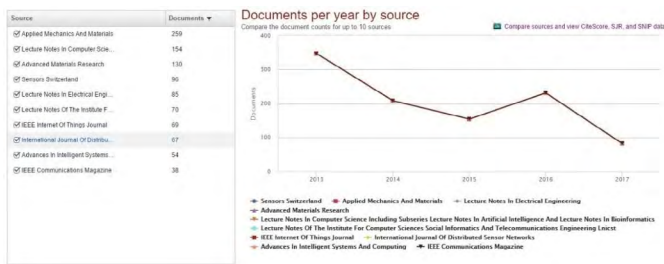


Fig. 4. Documentos por afiliación. Fuente: SCOPUS

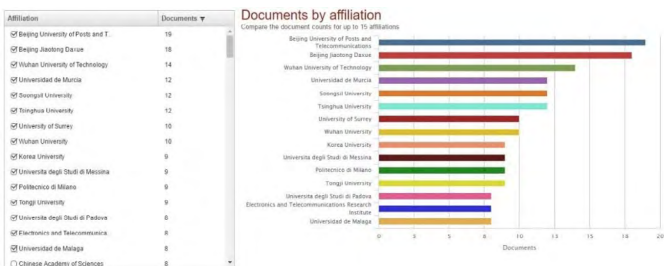


Fig. 5. Documentos revista por año. Fuente: SCOPUS

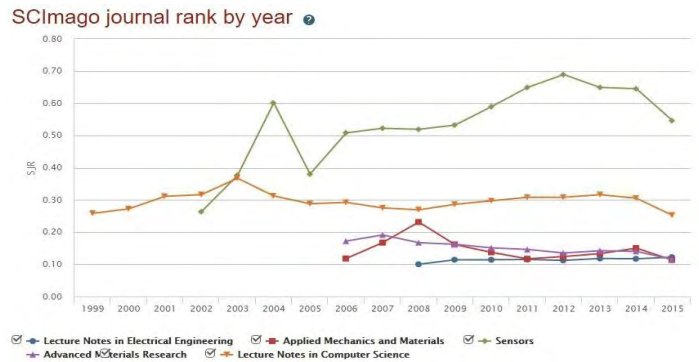


Fig. 6. Documentos revista por año, índice SCImago. Fuente: SCOPUS

El inicio del proceso consistió en realizar un rastreo documental en bases de datos especializadas, se preseleccionaron artículos y al final se seleccionaron referencias, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión. “No se tomaron en consideración para el análisis aquellas fuentes primarias que no hacían alusión a los núcleos temáticos y/o aquellos que no se encontraban en revistas indexadas” [7,8], (ver figuras 4, 5 y 6).

• Generación de áreas temáticas y tipologías

Como acto seguido, se analiza cada documento, se establecen sus áreas temáticas y tipologías, como punto de entrada del proceso de revisión. Con la ayuda del software de administración de referencias Mendeley Desktop, se genera un documento elaborado en Word con los siguientes campos: título del artículo, autor, año, revista, información de la revista, problema de investigación, objetivos, tipo de investigación, método, descripción, instrumentos utilizados, resultados y núcleo temático. En este aparte, se pretendió identificar puntos de encuentro y diferencia de criterios entre los documentos clasificados que fundamentan la estructura de los ejes descritos para la presente búsqueda. (ver figura 7).

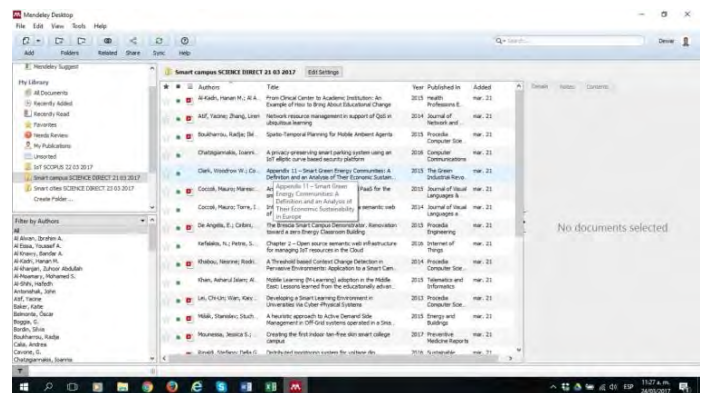


Fig. 7. Fuentes primarias preseleccionadas. Fuente: Mendeley Desktop.

• Interrelación entre artículos

En este aparte, se pretendió identificar puntos de encuentro y diferencia de criterios entre los documentos clasificados que fundamentan la estructura de los ejes descritos para la presente búsqueda. [8]

V. CASO 1: DESEMPEÑO LOGÍSTICO REGIONAL

La capacidad de las organizaciones enfocada hacia el sostenimiento, la operación y el crecimiento, es una de las funciones a desarrollar para competir efectivamente con sus similares. Una ventaja competitiva puede ser medida a través de las capacidades que delinean las empresas y los sectores, una de esas capacidades corresponde al manejo efectivo de la cadena de suministro, la cual en manos de una gerencia adecuada podrá ser, mas que una capacidad, un diferenciador que puede ser apalancado a generar ventajas en las empresas [9].

Administrar los flujos de información correspondientes a la demanda, por parte de los clientes y la información de suministro, por parte de los proveedores, como tarea de la logística y el flujo de materiales desde los puntos de acopio, hasta los puntos de entrega, como labor principal de la administración de la cadena de suministros, son funciones de soporte para velar por los procesos desde el aprovisionamiento, procesamiento y preparación, hasta la entrega de los productos [10], sintonizando eslabones conectados entre si y a los flujos de información de los clientes con los flujos de información de materiales.

El desarrollo de la gestión logística es una de las capacidades a fortalecer con miras a mejorar la competitividad, los datos de índices como en Global competitive Index (GCI) y el Logistics Performance Index (LPI) sustentan que en Colombia existen brechas significativas en el desempeño logístico frente a los países que lideran estos rankings.

En la actualidad se evidencia que los resultados no presentan mejoras, no obstante, a nivel nacional y regional se han desplegado estrategias en busca de mejorar la competitividad, tal es el caso del diamante Caribe- Santander, que por medio de “Proyectos estratégicos propuestos para las ciudades y territorios involucrados dentro del diamante, integrales, multisectoriales, con incidencias cruzadas sobre temas críticos y sobre diferentes escalas territoriales” [11], espera generar desarrollo para las regiones.

Como una oportunidad de aprendizaje y apalancamiento del desempeño logístico se propone el desarrollo un modelo sistémico que sustente el desarrollo regional multimodal, en cadenas de suministro dinámicas, de los sectores productivos de Santander.

La complejidad existente y los cambios causados por cadenas de

suministro dinámicas dan pie para tomar la dinámica de sistemas, en particular la metodología propuesta por John D. Sterman en su libro “Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world” [5], en el cual plantea un ciclo de 5 pasos secuenciales (Ver figura 1) como alternativa para enfrentar un problema complejo.

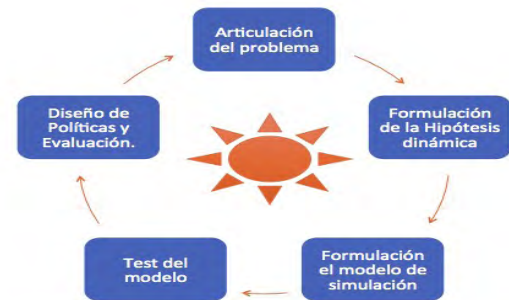


Fig.1 Pasos metodológicos. Fuente: Adaptado de [5]

Se espera comprobar las siguientes hipótesis de investigación:

H1: El desarrollo de políticas para mejorar el desempeño logístico de las regiones depende de la relación sistémica entre los actores críticos y los actores en una cadena de suministro, plasmada en modelación de dinámica de sistemas.

H2: El desempeño general del sistema. Es influenciado por la colaboración entre los eslabones de la cadena de suministros.

VI. CASO 2: SMART UNIVERSITY

Partiendo de *Smart cities*, existen muchas definiciones de ciudades inteligentes. Algunos se centran en las TIC como tecnología [12], mientras que las definiciones más amplias incluyen el desarrollo socioeconómico [13], la gobernanza [14], uso de la participación social para Sostenibilidad, calidad de vida y bienestar urbano[15].

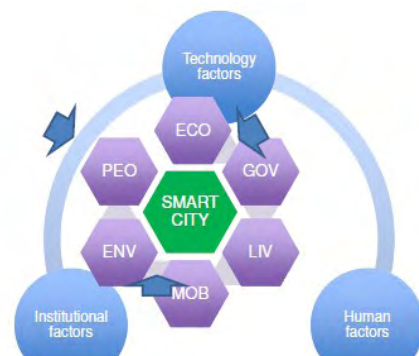


Fig. 2. Relación entre componentes y características de ciudades inteligentes. Fuente: Adaptado de [16]

En cualquier caso, una Ciudad Inteligente es esencialmente habilitada por el uso de tecnologías para mejorar la competitividad y garantizar un futuro más sostenible en la vinculación simbiótica de redes de personas, empresas, tecnologías, Infraestructuras, consumo, energía y espacios [16]. Más concretamente, (ver figura 2), las estrategias e iniciativas de una Smart city deben incluir al menos una de las siguientes características:

- Smart Governance,
- Smart People,
- Smart Living,
- Smart Mobility,
- Smart Economy y
- Smart Environment.

Se puede asumir según Maestre [17] que:

“Una ciudad inteligente es un territorio caracterizado por el uso intensivo de las tecnologías, principalmente de información y comunicación, para promover la colaboración, la innovación y la eficiencia para lograr el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos y la sostenibilidad de las ciudades a través del mejoramiento de los servicios hacia los ciudadanos” (p.6).

Ahora partiendo de este concepto de Smart City, trasladado a toda su comunidad y a su entorno, Maciá, Berná, Sánchez, Lozano, & Fuster [18] generan como resultado el concepto de Smart Campus o Smart University, el cual mantiene el mismo objetivo principal de mejorar la calidad de vida de su comunidad aplicando de forma global, intensiva y sostenible las TI bajo el principio de servicio a la ciudadanía, (ver figura 3). Es por eso que se trata de un entorno controlado, en el cual las políticas económicas, de sostenibilidad, construcción o desarrollo deciden de forma local y no dependen de factores externos, aunque siguen criterios similares a las políticas y estrategias nacionales o internacionales.

Para lograr todo es necesario apoyarse en el poder de las TI que existen actualmente, ya que su correcto uso será el pilar fundamental para el éxito fundamental del proyecto. La infraestructura actual permite disponer de sistemas digitales conectados de manera global, capaces de soportar aplicaciones, servicios, plataformas y sensores, todos ellos funcionando en conjunto bajo un ecosistema o marco estandarizado de normas y protocolos capaces de actuar de manera integral y a su vez desacoplada, desempeñando un papel imprescindible en la generación correcta de conocimiento e interconexión.

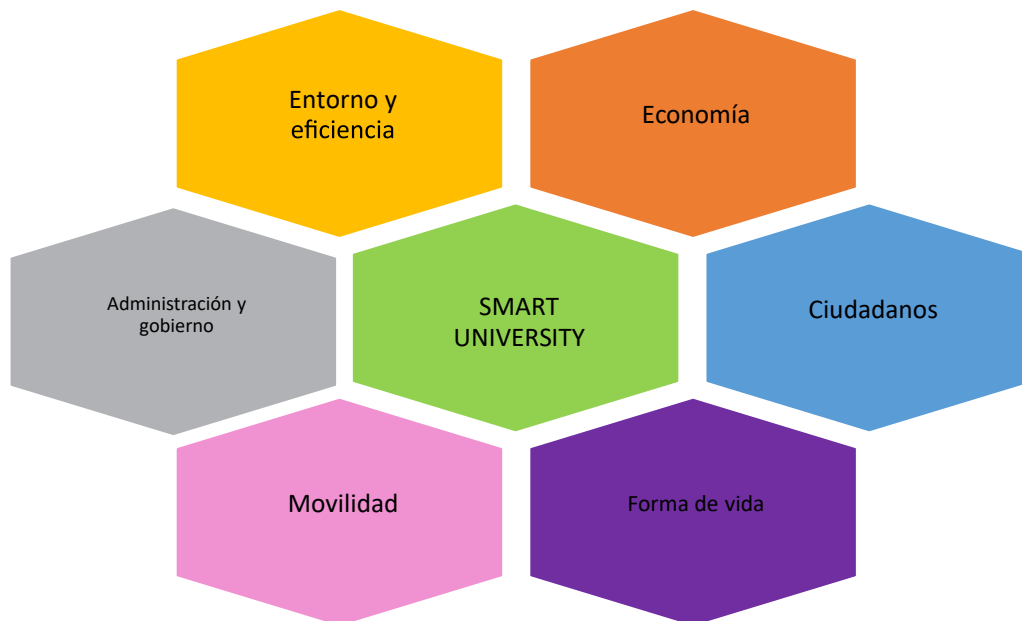


Fig. 3. Pilares básicos en una comunidad inteligente. Fuente: Adaptado de [18]

Las principales ventajas de emplear TI son:

- Fácil acceso a los datos
- Adquisición de información
- Procesamiento rápido de la información
- Transmisión rápida
- Almacenamiento y análisis de la información
- Interactividad

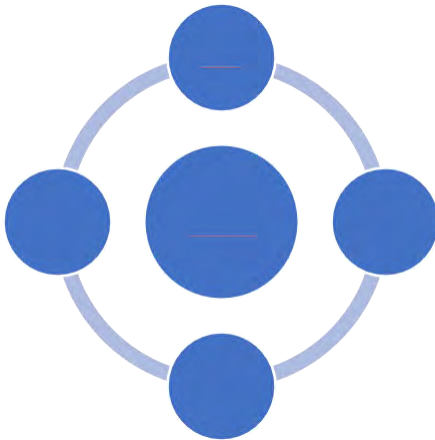


Fig. 4. Algunos paradigmas Ti aplicados a Smart University. Fuente: Adaptado de [18]

El mundo ha cambiado, la tecnología ha cambiado el mundo. Tecnología y sociedad son ahora compañeros inseparables, se han fusionado para ofrecer un nuevo nivel de servicios. TI no es sólo hablar de computadores, dispositivos móviles, sensores, redes, es hablar de nuevos conceptos y paradigmas socio-tecnológicos, (ver figura 4).

El concepto de Smart University, al igual que el de Smart City, está fuertemente anclado al de la potencia de las TI, haciendo especial énfasis en el concepto del “internet de las cosas” (Internet of things) y de las actuales Smart Networks, las cuales interconectan sistemas y personas y, además, estimulan la innovación para facilitar un conjunto de objetivos en beneficio de todos.

El aporte al proyecto extraído desde el modelamiento sistémico se puede resumir en:

- El enfoque sistémico, contempla la conexión entre los individuos y el contexto.
- Esta metodología, favorece una visión integradora de los fenómenos, relacionar circularmente las partes.
- Se subdivide en subsistemas que, como el sistema, son identificables a través de la definición de sus Límites, Funciones,

Comunicación y Estructura. (Tecnológico, Humanos, institucionales).

- La posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo.
- Útil para el estudio de fenómenos sociales ya que en ellos están implicados una gran cantidad de elementos e interrelaciones.
- Modelado cualitativo, o causal, del sistema. Definir las influencias que se producen entre los elementos que integran el sistema.
- Modelado cuantitativo. Modificar la estructura del mismo y analizar su comportamiento bajo distintas condiciones.
- Indicadores que aportan información significativa del comportamiento del sistema.
- Modelos de probabilidad. Presentar datos que podrían ser modelados mediante una distribución.

VII. CASO 3: SISTEMAS DE INNOVACIÓN AGRÍCOLA

Existe consenso entre académicos, profesionales y decisores de políticas, sobre el hecho que la innovación agrícola es el resultado del funcionamiento eficaz de un Sistema de Innovación Agrícola (SIA) y se identifica que los problemas de desarrollo agrícola y rural, nuevos y tradicionales, son típicamente problemas del “sistema” [19].

Diversas intervenciones de enfoque lineal para mejorar los sistemas agrícolas, se han implementado bajo el supuesto que fortaleciendo las competencias de los individuos, mejorará sus capacidades y la capacidad de las organizaciones, lo que a la vez contribuirá a la aparición de capacidades en el sistema [19]. Este caso se enmarca, dentro de la línea de pensamiento de los SIA, compuesto por tres dimensiones del sistema (individual, organizacional y entorno favorable), propone un enfoque sistémico, para desarrollo de capacidades.

La diferencia esencial entre el enfoque lineal tradicional y el enfoque sistémico del proceso de innovación en los SIA, consiste en la Gestión del Conocimiento, GC, así como en las concepciones de qué el conocimiento es relevante; tácito vs explícito, de acuerdo a la perspectiva de sistemas blandos planteada por Checkland y Scholes [21] y en la forma cómo se identifica, captura, evalúa, recupera y reparte este conocimiento entre los grupos de interés [22].

Un SIA un “sistema adaptativo complejo”, que evoluciona en función de las interacciones entre sus elementos y en base a las interrelaciones entre personas, grupos, estructuras e ideas [23], convirtiéndolo en un proceso altamente impredecible, un sistema

dinámico, por lo cual se requiere considerarlo bajo la perspectiva de sistemas con múltiples estados [20].

La innovación como salida típica de un SIA, así como las prácticas para alcanzar la misma, no pueden ser transferidas o replicadas de un lugar a otro [24] de forma literal, se necesita individuos especializados y competentes como intermediarios sistémicos, en relaciones complejas [25] facilitadores.

Facilitar los procesos de cambio complejos que conducen al aprendizaje social o colaborativo, requiere la investigación acción sistémica, no sólo para apoyar a los actores en la comprensión y cambio de la dinámica del sistema, sino también para conectar los múltiples enlaces de los procesos de aprendizaje a través de los sistemas sociales, organizaciones y redes [20].

El aprendizaje social o colaborativo, base para la innovación en los SIA, se basa en el hecho de que el cambio está relacionado con diversos tipos de cambios cognitivos individuales o colectivos, o ambos. Es el proceso mediante el cual las comunidades, los grupos de actores involucrados, o sociedades, aprenden a innovar y a adaptarse en respuesta a las condiciones sociales y del entorno [26].

Santander es el cuarto departamento dentro del ranking del Consejo Privado de Competitividad 13. Esta posición se establece debido a desempeños de bajo desempeño en cuanto a: i) innovación, ii) sofisticación de los negocios e iii) infraestructura. Las actividades agrícolas de Santander aportan el 16% de la productividad industrial y el 4% del PIB regional.

La implementación de la visión de Sistemas de Innovación Agrícola, así como el enfoque sistémico de gestión del conocimiento, dentro de la región del Magdalena Medio Santandereano, se estima estratégico para la creación de condiciones que faciliten procesos de aprendizaje de doble vía e innovación, de forma colaborativa.

Al igual que en otros lugares del mundo en Santander, las organizaciones agrícolas encuentran dificultades en ir más allá de la codificación de los conocimientos e ignoran o pasan por alto el valor de su propio conocimiento local [27] así como la naturaleza social de su construcción.

El enfoque conceptual del aprendizaje de doble vía para el desarrollo de capacidades en SIA, utiliza la “visión de innovación en proceso” entendida como: un proceso de desarrollo interactivo de tecnología, prácticas, mercados e instituciones – que tiene lugar en un sistema de redes de actores. Este proceso genera como resultado la aparición de ideas nuevas, prácticas, procesos o formas de interactuar dentro de un sistema de producción dominante o una nueva configuración de la cadena de valor [20].

Este proceso sucede a nivel de nichos de innovación o a nivel de sistema con base a: i) identificación de puntos de entrada, ii) la identificación de nichos de innovación, y la facilitación aprendiza-

je y alineación. El ciclo para el desarrollo de capacidades, se describe en cinco pasos denominados: i) consolidación del compromiso, ii) creación de una visión, iii) evaluación de las necesidades sobre capacidades, iv) formulación de la estrategia del desarrollo de capacidades y v) la implementación [20].

Con base a este enfoque, se desarrollan alternativas al sistema predominante [25] o emergen capacidades (combinaciones de recursos, procedimientos técnicos o diferentes cuerpos de conocimiento) para un mejor funcionamiento de los SIA [28].

De forma alternativa, se desarrolla para el SIA de Santander Magdalena Medio, una plataforma compuesta por una red de actores con extensiones de tierra catalogadas como Agricultura Familiar, que junto con el desarrollo de las capacidades institucionales y políticas de apoyo del sector agrícola en la región, enmarcada dentro

de la iniciativa “Agrópolis” del Plan de Desarrollo Departamental de Santander, ponen en uso social y económico el conocimiento para desarrollar innovación.

VIII. CONCLUSIONES

Las aplicaciones de dinámica de sistemas brindan una visión holística de las situaciones, lo cual facilita la toma de decisiones y la construcción de modelos, especialmente en sistemas complejos con alta influencia de modelos mentales.

El objetivo de este artículo es analizar tres casos de estudio en construcción dentro del desarrollo de proyectos doctorales del área de ingeniería en Colombia desde un enfoque de pensamiento de dinámica de sistemas. Como resultado de estos análisis se identifica que las aplicaciones de dinámica de sistemas brindan una visión holística de las situaciones, lo cual facilita la toma de decisiones y la construcción de modelos, especialmente en sistemas complejos con alta influencia de modelos mentales. De manera adicional, resalta que en razón a la dinámica derivada de la naturaleza del conocimiento como fuente de ventaja competitiva, el abordaje de la construcción o desarrollo de capacidades, así como la gestión e implementación de tecnologías con base en un marco de trabajo derivado del pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas, brinda un soporte pertinente acorde a la complejidad de estos problemas.

IX. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Mesa de Innovación Agroindustrial de Santander, MIA, el grupo de investigación INNOTEC de la Universidad Industrial de Santander-UIS, a la Universidad Francisco de Paula Santander Sede Ocaña- UFPSO y a la Universidad Autónoma de Bucaramanga- UNAB.

X. REFERENCIAS

- [1] M. C. Jackson, *Systems Thinking: Creative Holism for Managers*, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2003.
- [2] A. Espinosa y J. Walker, *A complexity approach to sustainability: theory and application*, vol. 5, World Scientific, 2017.
- [3] P. Checkland y C. Tsouvalis, «Reflecting on SSM: the link between root definitions and conceptual models,» *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 14, n° 3, pp. 153-154, 1997.
- [4] J. Aracil, *Introducción a la Dinámica de sistemas*, Madrid: alianza Editorial, 1983.
- [5] J. D. Sterman, *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, Boston: McGraw-Hill, 2000.
- [6] R. Hernández , C. Fernández y M. d. P. Baptista, *Metodología de la investigación (quinta edición ed.)*, Mexico DF.: Mc Graw Hill, 2010.
- [7] J. Arevalo, R. Bayona y D. Rico, «Responsabilidad social empresarial e innovación: Una mirada desde las tecnologías de la información y comunicación en organizaciones.,» *Clío América*, vol. 9, n° 18, pp. 180-189, Julio 2015.
- [8] A. Sánchez , *Manual de redacción académica e investigativa: cómo escribir, evaluar y publicar artículos.*, Medellín, Antioquia: Fundación Universitaria Católica del Norte, 2011, p. 226.
- [9] V. Sehgal, *Supply chain as strategic asset : the key to reaching business goals*, Hoboken, New Jersey.: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [10] A. Harrison y R. Van Hoek, *Logistics management and strategy : competing through the supply chain*, 3rd ed., Harlow, Essex: Pearson Education, 2008.
- [11] Findeter, «Libro Blanco, Diamante Caribe y Santanderes,» Panamericana Formas e Impresos, Bogotá, 2016.
- [12] A. Gaur, B. Scotney, G. Parr, and S. McClean, “Smart city architecture and its applications based on IoT,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 52, no. 1, pp. 1089–1094, 2015.
- [13] R. Díaz-Díaz, L. Muñoz, and D. Pérez-González, “Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, 2017.
- [14] A. Sampri, A. Mavragani, and K. P. Tsagarakis, “Evaluating Google Trends as a Tool for Integrating the ‘Smart Health’ Concept in the Smart Cities’ Governance in USA,” *Procedia Eng.*, vol. 162, pp. 585–592, 2016.
- [15] U. Rosati and S. Conti, “What is a Smart City Project? An Urban Model or A Corporate Business Plan?,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 223, pp. 968–973, 2016.
- [16] R. Catriona , R. Gavin y R. Jonathan , «European Parliament,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.europarl.europa.eu/studies>. [Último acceso: 28 Marzo 2017].
- [17] G. Maestre, «Revisión de literatura sobre ciudades inteligentes: una perspectiva centrada en las TIC,» *INGENIARE*, vol. 11, n° 19, pp. 137-149, 19 Octubre 2015.
- [18] F. Maciá, J. Berná, J. Sánchez, I. Lozano y A. Fuster, *Smart University. Hacia una universidad más abierta*, Ciudad de México: Alfaomega, 2017, p. 216.
- [19] Fresco, L. Challenges for food system adaptation today and tomorrow. *Environmental Science & Policy*, 12(4), pp.378–385, 2009.
- [20] Plataforma de Agricultura Tropical. Marco Común sobre el Desarrollo de Capacidades para los Sistemas de Innovación Agrícola: Antecedentes Conceptuales. CAB International, Wallingford, Reino Unido, 2017.
- [21] Checkland, P. & Scholes, J. *Soft system methodology in action*. John Wiley, Chichester, UK, 1990.
- [22] Chichester, UK. Hartwich, F., Monge Pérez M., Ampuero Ramos L., Soto J.L. Knowledge management for agricultural innovation: Lessons from networking efforts in the Bolivian Agricultural Technology System. *Knowledge Management for Development Journal*, pp. 3(2): 21–37, 2007.
- [23] Land, T., Hauck, V., Baser, H. Capacity development: Between planned interventions and emergent processes. *Policy Management Brief 22*. Maastricht: ECDPM, 2009.
- [24] Gildemacher, P. & Wongtschowski, M. *Catalysing innovation: from theory to action*. KIT working paper 2015-1. Royal Tropical Institute, Amsterdam, The Netherlands, 2015.
- [25] Klerkx, L., van Mierlo, B. & Leeuwis, C. Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. In: I. Darnhofer, D. Gibbon and B. Dedieu, eds. *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer, Dordrecht, Germany, 2012.
- [26] Woodhill, J. Capacities for institutional innovation: a complexity perspective in capacity, reflecting collectively on capacities for changes. *IDS Bulletin*, 41(3): 47–59, 2010.
- [27] Horton, D., Thiele, G., Oros, R., Andrade-Piedra, J., Velasco, C. & Devaux, A. Knowledge management for pro-poor innovation: the Papa Andina case. *Knowledge Management for Development Journal*, 7(1): 65–83, 2011.
- [28] Knickel, K., Brunori, G., Rand, S. & Proost, J. Towards a better conceptual framework for innovation processes in agriculture and rural development: from linear models to systemic approaches. *The journal of agricultural education and extension*, 15(2): 131–146, 2009.

Modeling of Coal and Biomass Gasification Process in a Fixed Bed Reactor

F. R. Jiménez, Member, IEEE, M. A. Ardila, y A. F. Jiménez

Abstract—Biomass and coal gasification is a technology suitable for small-scale power generators. It is an ecological technique to convert agricultural waste into combustible gas. In spite of this, there are limitations in its modeling to operate the gasifier reactor in steady state due to several parameters to measure in the process, which often can present behavior unstable or nonlinear. This document describes the obtaining of the first-order dynamic mathematical model for the different zones of the gasification process present in a pilot fixed-bed reactor for its characterization.

The gasification process and the chemical reactions present in the drying, pyrolysis, gasification and combustion zones are described using as reactive agent water steam. Finally, it's obtain the steady-state mathematical models of each reaction zone to predict the behavior of the gasification process and to find thermally efficient modes of operation. The results obtained as a result of the modeling, characterize the dynamic behavior of the gasifier for its subsequent identification and control.

Index Terms—Biomass Coal Gasification, fixed bed gasifier, kinetic modeling, energy balance, chemical reactions.

I. INTRODUCCIÓN

El carbón es el recurso energético más abundante del mundo y en Colombia y el combustible fósil más económico. Adicionalmente la biomasa es considerada como la materia que se deriva directa o indirectamente en forma vegetal o animal. El proceso de gasificación expuesto en este documento consiste en la oxidación parcial de una mezcla de carbón y biomasa para formar gas combustible conocido como gas de síntesis (*SynGas*): monóxido de carbono CO , hidrógeno H_2 y metano CH_4 . Adicionalmente el proceso de gasificación genera otros

El gas de síntesis se procesa para producir combustibles líquidos o gaseosos, químicos, y energía eléctrica a bajo precio. El potencial en Colombia es importante gracias a que está considerado como el cuarto exportador de carbón a nivel mundial y posee las mayores reservas en Latinoamérica y la biomasa puede mezclarse con carbón mineral para reducir el impacto ambiental, sin afectar el desempeño de los hornos durante la combustión [1].

Los residuos de los procesos agrícolas como la ceniza de la maleza poseen alto contenido de potasio y óxidos que pueden ser una alternativa viable de aprovechamiento energético en procesos de transformación termoquímica [2].

El desarrollo de las tecnologías de gasificación del carbón y biomasa es un componente primario de las industrias de proceso y es

de vital importancia para hacer frente a las limitadas reservas de petróleo [3, 4] ya que se puede considerar como una tecnología limpia y promisoría donde el reto es reducir emisiones contaminantes para el medio ambiente y mejorar la eficiencia.

El modelado matemático del proceso de gasificación es un problema clave para su control y supervisión, por lo cual es necesario la obtención del modelo que describa su comportamiento [5]. Los modelos del proceso suelen ser muy complejos, con no linealidades y para simplificar el diseño del control se requiere la obtención del modelo linealizado [6, 7, 8] alrededor del punto de operación.

A pesar de esto, existen limitaciones en su modelado para operar el reactor de gasificador en estado estacionario debido a varios parámetros a medir en el proceso, que a menudo pueden presentar comportamientos inestables o no lineales. Este documento describe la obtención del modelo matemático dinámico de primer orden para las diferentes zonas del proceso de gasificación presente en un reactor piloto de lecho fijo para su caracterización.

El proceso de gasificación y las reacciones químicas presentes en las zonas de secado, pirólisis, gasificación y combustión se describen utilizando como agente reactivo el vapor de agua. Finalmente, se obtienen los modelos matemáticos en estado estacionario de cada zona de reacción para predecir el comportamiento del proceso de gasificación y encontrar modos de operación térmicamente eficientes. Los resultados obtenidos como resultado del modelado caracterizan el comportamiento dinámico del gasificador para su posterior identificación y control.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN

A. Gasificación de Carbón y Biomasa

La gasificación es un proceso termoquímico mediante el cual se llevan a cabo una serie de reacciones entre la mezcla de biomasa y carbón y un agente gasificante (Aire, H_2O , CO_2 u O_2) para la producción del gas (compuesto principalmente de CO y H_2) con un valor energético considerable denominado gas de síntesis [9]. Este gas tiene su uso en sistemas de combustión interna, en celdas de combustible, como materia prima de procesos químicos o como generación de energía eléctrica [10].

Para la gasificación se emplean muestras de carbón mezcladas con cenizas de maleza (residuo de cultivos) como materia prima. Es-

tos residuos agroindustriales son comunes en plantaciones de la región y normalmente se utilizan como fertilizantes por su contenido de potasio y alto poder calorífico (alrededor de 18 [MJ/Kg] [11]) que los hace apropiados para su uso termoquímico. La caracterización de las muestras de biomasa y carbón han sido soportadas mediante ensayos de análisis energético próximo (contenido de cenizas, humedad y materia volátil) y análisis energético último. El análisis de contenido de cenizas se determina con la norma DIN 51719 o ASTM E1755-01 [12], el contenido de humedad se determina siguiendo la norma DIN 51718 o ASTM E871-82 [13] y la proporción de materia volátil y carbón fijo se determina usando la norma DIN 51720 o ASTM E872 [14].

El análisis último se realiza para caracterizar la incidencia del contenido de C, H, N, S y O en el proceso de aprovechamiento energético determinado por el tipo de biomasa. Las muestras de carbón biomasa se preparan mediante el sometimiento a una presión de 5 toneladas y peso por celdas de carga, conformando briquetas como las ilustradas en la Fig. 1.



Figura 1. Briquetas de Carbón y Biomasa.

El proceso de gasificación se implementó sobre un prototipo de gasificador de lecho fijo (*updraft* o en contracorriente) en donde la alimentación de carbón biomasa se realiza en la parte superior y la alimentación del agente de reacción se realiza en la parte inferior, gracias a que es un equipo simple de implementar, operar y mantener [15]. El proceso de gasificación se realiza en cuatro etapas o zonas de reacción estratificadas a lo largo del reactor como se muestra en la Fig. 2.

La primera etapa es la zona de secado forzado, donde las briquetas de carbón y biomasa que alimentan al reactor del gasificador se deshidratan, en esta zona la temperatura se incrementa hasta los 430[°C] para obtener mejores rendimientos energéticos posteriormente. En la segunda zona se realiza el proceso de Pirolisis, en donde los componentes volátiles del carbón se evaporan formando una mezcla gaseosa de hidrogeno, óxidos de carbono, hidrocarburos livianos, alquitrán, aceites y fenoles.

En la pirolisis se calienta el carbón de biomasa hasta temperaturas de 550[°C] en ausencia de oxígeno, produciendo reacciones no tan rápidas y reduciendo el peso del carbón biomasa aproximadamente en un 65%. El poder calorífico de los gases y líquidos producidos contienen alrededor del 50% del poder calorífico inicial del carbón de biomasa alimentado. El 50% restante del poder calorífico está contenido en unas cenizas (Char) formadas por una corriente residual de minerales contenidos en el carbón.

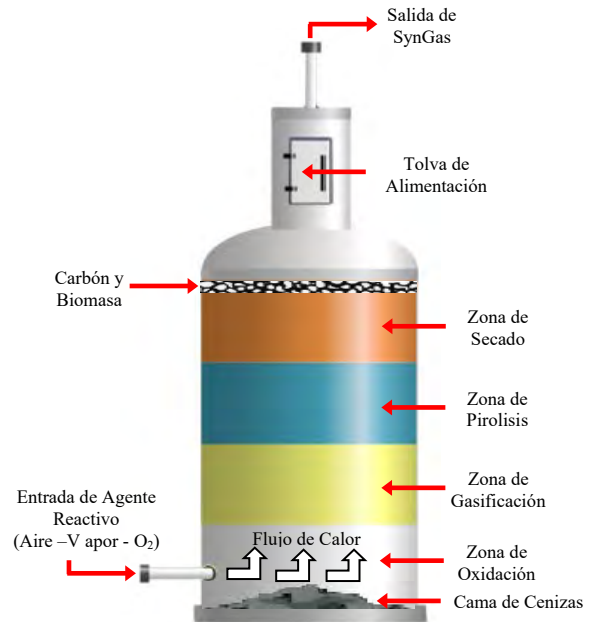


Figura 2. Reactor del Gasificador de Lecho Fijo en contracorriente.

Para alcanzar una máxima eficiencia en el proceso de gasificación y reducir la cantidad de cenizas se requiere someter las muestras a temperaturas superiores a los 600[°C] para que reaccionen los compuestos de alto contenido molecular. Esta etapa se denomina Gasificación o Zona de Reducción de cenizas, el cual es un proceso más rápido que la pirolisis. Durante la Gasificación se transforma el estado sólido de las muestras de carbón biomasa en un gas de alto contenido energético aprovechado como combustible. La última etapa que es la Zona de Oxidación o Combustión de cenizas en donde el carbón de biomasa restante se oxida con el oxígeno contenido en el agente reactivo suministrado.

Desde el punto de vista operativo se determinaron las especificaciones de operación del prototipo de gasificador de lecho fijo realizando pruebas de funcionamiento en modo continuo para medir temperaturas, presiones, flujos y tasas de humedad. El esquema del prototipo de gasificador construido se ilustra en la Fig. 3, el cual fue instrumentado electrónicamente [16] para realizar el monitoreo y manipulación de las variables en puntos de operación estables. A continuación se describe el proceso de gasificación sobre el prototipo de gasificador implementado.

En principio, las briquetas de carbón biomasa se alojan en la tolva de entrada del gasificador (I) llenándose la zona de secado (II) en la parte superior del cuerpo del reactor por encima de la zona de pirolisis. Se inicia el calentamiento del sistema de aire presurizado mediante los quemadores (III) hasta alcanzar la temperatura de secado de 430[°C]. Posteriormente se procede a adicionar energía a la zona de pirolisis mediante el suministro del agente gasificante (IV) regulado por un controlador de presión (V) que realiza la apertura de una válvula de bola proporcional (VI) y el monitoreo de un presostato (VII).

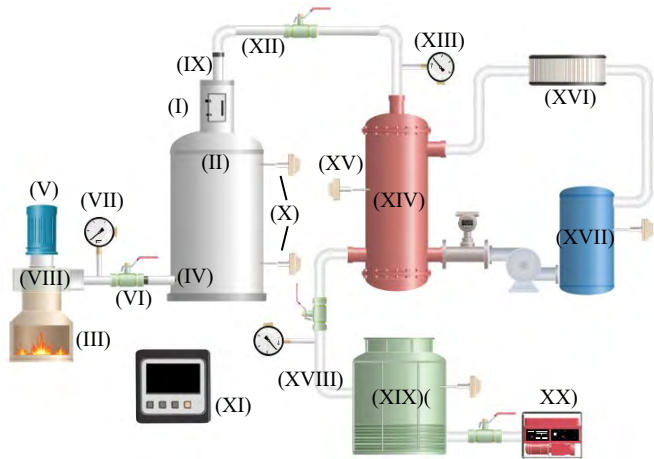


Figura 3. Prototipo del Sistema de Gasificación de Carbón Biomasa.

El agente reactivo se suministra por medio de un compresor externo (VIII), y la temperatura y presión del gas entrante progresivamente se incrementa a los puntos de las zonas de operación. Existe un ducto interior (IX) por donde se evacuan los gases de síntesis ubicado en la parte superior del reactor como resultado de la descomposición térmica. La medición de temperaturas se realiza con termocuplas tipo K dispuestas en las zonas de pirólisis y gasificación del reactor (X) para su caracterización.

Al superar el umbral de los 550[°C], se procede a regular la ignición de llama externa y se da apertura a la válvula proporcional lentamente desde el sistema de adquisición y distribución de datos que supervisa la operación apropiada del gasificador en un computador (XI).

Cuando se superan los 600[°C] se da entrada al aire a una velocidad entre 2 y 3 m/s a través de la válvula proporcional que lleva a la zona de combustión. Este proceso se desarrolla hasta que la temperatura en la zona de combustión llegue a un intervalo entre 800[°C] y 1000[°C]. Esta temperatura se regula y mantiene constante durante un tiempo programado por el sistema de adquisición y distribución de datos.

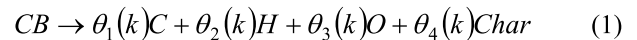
El gas producido se evacua del reactor (XII) y su presión es medida con un transductor de presión de gas (XIII) para establecer las propiedades del gas antes de llegar al intercambiador de calor (XIV) para enfriamiento y limpieza de gases. En el intercambiador se tiene dispuesto un medidor de temperatura (XV). Los condensados resultantes del intercambiador se filtran (XVI) y pasan a una torre de lavado (XVII) que reduce la temperatura de 600[°C] a 100[°C] y retira el material articulado. Finalmente los gases producidos (XVIII) se descargan y almacenan en un tanque (XIX) para su análisis (XX).

B. Química de Gasificación del Carbón Biomasa

El agente reactivo se agrega al proceso y permite descomponer los productos de la combustión parcial del carbón biomasa en el gas de síntesis. Las reacciones de gasificación son en general endotérmicas, y dan como resultado dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua en los productos [17].

Para obtener el modelo matemático del reactor del gasificador se considera el comportamiento químico de las reacciones térmicas presentes en su interior. La entrada de muestras de carbón biomasa al proceso de gasificación se combina con el agente reactivo que puede ser aire, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua o una mezcla de estos. En este caso particular se utilizó como agente oxidante vapor de agua que genera gas de síntesis con un poder calorífico aceptable alrededor de 13 a 20 MJ/Nm³ [18], facilitando la generación de H₂ y la minimización de residuos tóxicos.

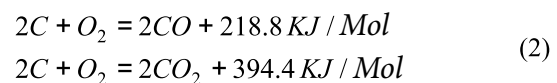
Suponiendo que la composición de carbón biomasa (CB) contiene carbón (C), hidrogeno (H), oxígeno (O), ceniza (Char), se puede establecer que [19]:



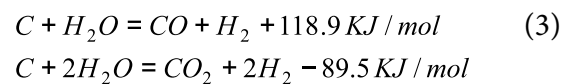
$$\text{Donde } \sum_{i=1}^4 \theta_i(k) = 1, \quad \text{y} \quad \Theta(k) = [\theta_1(k), \theta_2(k), \theta_3(k), \theta_4(k)],$$

que denota la función de calidad del carbón.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente las reacciones químicas que ocurren al interior del reactor del gasificador. En la parte inferior del reactor fluye continuamente el agente reactivo (vapor de agua y oxígeno), existe una zona de combustión (zona de oxidación) con las siguientes reacciones principales de CO y CO₂:



La reacción de la gasificación de (CB) se puede clasificar en dos fases [20]. La primera fase es la reacción de combustión del carbón con el vapor de agua (reacción agua-gas), que se realiza por encima de la zona de oxidación en la zona de recuperación primaria (Zona de absorción de calor) con las principales reacciones entre el carbón biomasa (CB) y el vapor de agua y las ecuaciones químicas que la describen se expresan en (3):



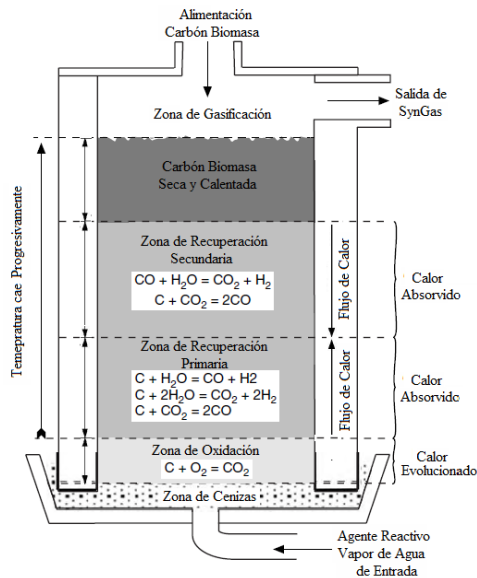
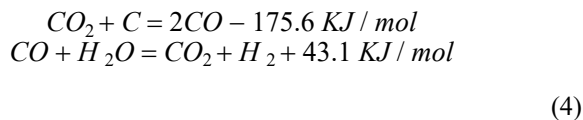


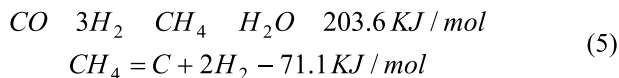
Figura 3. Reacciones Químicas en el Reactor del Gasificador.

La reacción endotérmica de combustión con vapor es favorecida por temperaturas elevadas y presiones reducidas en ausencia de catalizadores y se produce lentamente a temperaturas por debajo de 930[°C]. Generalmente es una rápida e irreversible.

La segunda fase es la reacción de desplazamiento agua-gas del carbón con el vapor de agua que es reversible, depende fuertemente de la temperatura de reacción y es ligeramente exotérmica. Esta fase se presenta en la zona de recuperación secundaria (Zona de Pirolisis de CB) con las siguientes reacciones principales:



Esta reacción cambia la composición del gas de síntesis. La reacción agua-gas altera la relación CO/H₂ y aumenta el valor calorífico del gas de síntesis, pero es muy lenta, excepto a altas presiones y en reacciones catalíticas. Aquí el dióxido de carbono es restaurado a nuevas porciones de monóxido de carbono. En la reacción de CO y H₂ se puede formar metano el cual experimenta un proceso de descomposición térmica:



En la parte superior del reactor está la zona de gasificación con la salida de gas y debajo de ella la zona volátil donde la composición (CB) es secada y calentada. La combinación de estas reacciones determina la estructura básica del gas generado, que varía en el gasificador de altura [21].

Siendo $T(k)$ la temperatura de reacción y $x(k)$ el coeficiente de equilibrio de la reacción, se obtiene la siguiente fórmula empírica [22]:

$$T(k) = \frac{n_{CO_2} \cdot n_{H_2}}{n_{CO} \cdot n_{H_2O}} = \left(\frac{202.362}{x(k) - 635.52} \right)^{0.921914} \quad (6)$$

Donde $n(i)$ denota la cantidad molar en el gas de síntesis. Para el proceso de gasificación del carbón, se señala que la temperatura de reacción es un parámetro clave a estabilizar o hacer seguimiento [23]. La composición (CB) puede contener más elementos, como nitrógeno (N), azufre (S) y/o cloro (Cl), entre otros. Mientras las reacciones químicas de estos elementos no sean reacciones principales, no van a tener inferencia significativa sobre la temperatura de reacción. Entonces, por conveniencia de análisis, se omiten las reacciones de estos elementos y sólo se consideran las principales reacciones.

III. MODELADO DEL GASIFICADOR CARBÓN BIOMASA

El objetivo del modelado del gasificador de carbón biomasa es predecir el rendimiento del gasificador basado en condiciones de entrada dadas. Las condiciones de entrada suelen incluir: carga y análisis del carbón; flujo, temperatura y presión de aire, oxígeno y vapor; y parámetros de diseño del gasificador tales como diámetro, altura y grosor del aislamiento térmico [24].

Los parámetros de rendimiento incluyen: temperatura del gasificador; conversión de carbono; caudal y composición del gas. En este sentido, el modelo del gasificador se propone obtener para su caracterización, para tener conocimiento de las condiciones de arranque y apagado, y para posteriormente diseñar un controlador electrónico.

Los modelos de gasificación que se han utilizado son: modelos de balance de masa y energía, modelos de equilibrio y modelos dinámicos. Los modelos de balance de masa y energía se fundamentan en la conservación de la masa y la energía. La realización de los balances sobre el gasificador da como resultado más incógnitas (variables de salida) que ecuaciones, lo que implica que más de una condición de salida puede satisfacer las ecuaciones de balance de masa y energía. En este caso, se requieren supuestos con respecto a algunas de las variables de salida, tales como la conversión de carbono fijo, la concentración de metano y la composición de monóxido de carbono del gas para calcular los valores de las variables de salida restantes.

Los modelos de equilibrio añaden ecuaciones de equilibrio a las ecuaciones de balance de masa y energía, lo que reduce la diferencia entre el número de variables y ecuaciones a uno y sólo se requiere un supuesto con respecto a la conversión de carbono fijo para calcular los valores de las otras variables de salida. Sin embargo, debido al corto tiempo de residencia del gas en un gas-

ificador, los gases rara vez están en equilibrio, lo que reduce la capacidad predictiva de los modelos de equilibrio. Los modelos de equilibrio son útiles porque pueden indicar condiciones de salida que no son alcanzables debido a limitaciones de equilibrio. Esto puede ayudar en la estimación de las concentraciones de metano y monóxido de carbono que se requieren en el modelo de balance de masa y energía.

Finalmente, los modelos dinámicos incluyen las tasas de las reacciones heterogéneas (gas-sólido) y homogéneas (gas-gas) que tienen lugar en el gasificador. También se incluye un modelo hidrodinámico que describe el patrón de flujo de gases y sólidos en el gasificador. Para ello, se requiere un modelo hidrodinámico, ya que el patrón de flujo de gases y sólidos afecta las velocidades de reacción y las tasas de transferencia de calor y masa en el gasificador.

Los modelos de reacción se utilizan para describir las tasas de las reacciones heterogéneas y homogéneas y tienen parámetros que dependen de la reactividad del carbón y del efecto catalítico de los componentes de la ceniza en el carbón. Los parámetros del modelo se pueden determinar por medio de mediciones de laboratorio y pruebas sobre la planta piloto.

La ventaja de los modelos dinámicos es que la conversión de carbono fijo y la aproximación al equilibrio de las reacciones de gases de gas se calculan basándose en la dinámica química y, por lo tanto, no se requieren supuestos con respecto a los valores de salida.

A. Modelo Dinámico del Gasificador

El proceso de gasificación se modeló por medio de ecuaciones dinámicas diferenciales de primer orden (unidimensionales) que relacionan los balances de masa y energía de la fase sólida y gaseosa. Debido a que el gasificador está bien aislado y las pérdidas de calentamiento a través de la pared del reactor son de aproximadamente un 7% de la potencia de entrada, los gradientes radiales existen pero pueden ser despreciables. La ecuación (7) describe la forma general de balance de energía:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial s_h}{\partial x} + s_q = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (7)$$

Donde u es el periodo de almacenamiento de energía en [s], t con respecto al tiempo, x el espacio en [m], s_h el transporte de calor, s_q la transferencia de calor y λ la conductividad térmica en [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]. El primer elemento a mano izquierda de la ecuación (7) corresponde al término de almacenamiento, el segundo es el término de transporte y el tercero es el término de transferencia o alimentación [25].

A mano derecha corresponde al de difusión, basándose en operación en estado estacionario, consecuentemente el término de almacenamiento no es considerado. El término de transferencia

contiene las pérdidas de calor a través de las paredes del reactor, la transferencia de calor de sólido a gas y el flujo térmico debido a las reacciones químicas para la fase sólida.

En general el proceso de gasificación se puede separar en cuatro zonas de reacción ya comentadas y por cada zona las propiedades físicas principales y las reacciones químicas se pueden considerar para el modelo.

B. Modelo Dinámico del Secado

El proceso presente en la zona de secado de carbón biomasa es descrito por una ecuación dinámica de primer orden que depende de la temperatura del sólido por medio de la expresión de tipo Arrhenius [25] mostrada en la ecuación (8). Las constantes dinámicas se derivan de [26]:

$$m_{agua} = (\rho_{hum}) \cdot A_{H_2O} \cdot \exp \left(-\frac{E_{H_2O}}{R \cdot T_{solid}} \right) \quad (8)$$

Donde m_{agua} es el flujo másico de agua en [$kg \cdot h^{-1}$], ρ_{hum} la concentración de humedad en el sólido en [$kg \cdot m^{-3}$], A_{H_2O} el área superficial de agua en [m^2], E_{H_2O} la energía de activación del vapor de agua en [$J \cdot kmol^{-1}$], R La constante universal de los gases en [$J \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$] y T_{solid} la temperatura del sólido en [K].

C. Modelo Dinámico de la Pirolisis

La devolatilización de carbón biomasa es un fenómeno complejo que involucra un gran número de reacciones químicas. Usualmente el modelo matemático de la pirolisis para reactores de lecho fijo se describe mediante una reacción global de una dimensión:

$$r_{p1} = (\rho_{biom}) \cdot A_{p1} \cdot \exp \left(-\frac{E_{p1}}{R \cdot T_{solid}} \right) \quad (9)$$

Donde r_{p1} es la tasa de reacción en la pirolisis primaria en [$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$], ρ_{biom} la densidad de la biomasa seca en [$kg \cdot m^{-3}$], A_{p1} el área superficial de la pirolisis primaria en [m^2] y E_{p1} la energía de activación en [$J \cdot kmol^{-1}$].

Los productos relacionados en la reacción química global de la ecuación (3) como el alquitrán a menudo se someten a reacciones de cracking secundario (r_{p2}) para formar gases combustibles como óxido de carbono (CO) y metano (CH_4), además de dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua [27].

$$r_{p2} = (\rho_{alq}) \cdot A_{p2} \cdot \exp \left(-\frac{E_{p2}}{R \cdot T_{gas}} \right) \quad (10)$$

Donde r_{p2} es la tasa de reacción en la pirolisis secundaria en $[kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$, ρ_{alq} la densidad del alquitrán en $[kg \cdot m^{-3}]$, A_{p2} el área superficial de la pirolisis secundaria en $[m^2]$ y E_{p2} la energía de activación en $[J \cdot kmol^{-1}]$ y T_{gas} la temperatura del gas en $[K]$. El calentamiento en la reacción de pirolisis se asume de baja magnitud en comparación con el calentamiento en las reacciones de gasificación y combustión, por lo que sus efectos son pequeños. La reacción de desplazamiento homogénea de agua-gas es activa en la pirolisis y en la zona de secado y también se puede modelar como una ecuación dinámica de primer orden partiendo de la ecuación (4) así:

$$r_{gp} = X_{CO} \cdot X_{H_2O} \cdot A_{gp} \cdot \exp\left(-\frac{E_{gp}}{R \cdot T_{gas}}\right) \quad (11)$$

Donde r_{gp} es la tasa de reacción entre el gas y la pared en $[kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}]$, X_{CO} la concentración molar de CO en $[kmol]$, X_{H_2O} la concentración molar de agua en $[kmol]$, A_{gp} el área superficial del gas en la pared del reactor en $[m^2]$ y E_{gp} la energía de activación en $[J \cdot kmol^{-1}]$.

D. Modelo Dinámico de la Gasificación

En la zona de gasificación el modelo incluye las reacciones heterogéneas de la ceniza. La ceniza es modelada como un hidrocarburo CH_2O_j consistente principalmente de carbón con pequeñas cantidades de hidrogeno y oxigeno (Composición típica en porcentaje del peso molecular total $C = 95wt\%$, $H = 2wt\%$, $O = 3wt\%$). A partir de las reacciones químicas consideradas en (5), la tasa de reacción depende de varios efectos como por ejemplo la transferencia de masa en la fase gaseosa y la difusión de la reacción. La cuantización de estos efectos en una tasa de reacción global se resume a continuación:

$$r_{g,i} = \frac{X_i}{\frac{1}{k_g} + \frac{1}{r_{quim,g,i}}} \cdot A_p \quad \text{con } i = H_2O, CO_2, H_2 \quad (12)$$

$$r_{quim,g,i} = A_i \cdot \exp\left(-\frac{E_i}{R \cdot T_{solid}}\right) \quad \text{con } i = H_2O, CO_2, H_2$$

Donde $r_{quim,g,i}$ es la tasa de reacción química de la gasificación que depende de i , A_p el área superficial de la partícula en $[m^2]$, y k_g el coeficiente de transferencia de masa en $[m \cdot s^{-1}]$ que se puede calcular según la literatura en [28].

A. Modelo Dinámico de la Combustión

En la zona de combustión la ceniza de biomasa remanente se oxida con el aire alimentado. Los productos volátiles formados son quemados con oxígeno hasta cierto punto. La combustión de ceniza es una reacción heterogénea y al igual que las ecuaciones de gasificación, sin embargo la tasa de reacción química r_{quim} es de menor relevancia.

$$r_d = \frac{PO_2}{\frac{1}{2 \cdot k_{ox}} + \frac{1}{\left(\frac{M_{gas}}{M_{solid}} \cdot r_{quim,c1}\right)}} \cdot A_p \quad (13)$$

$$r_{quim,c1} = A_{c1} \cdot \exp\left(-\frac{E_{c1}}{R \cdot T_{solid}}\right)$$

Donde $r_{quim,c1}$ es la tasa de reacción química de la combustión, k_{ox} el coeficiente de transferencia de masa de la reacción $[m \cdot s^{-1}]$ que se puede calcular según la literatura en [29] y M_{gas} , M_{solid} los pesos moleculares de la fase gaseosa gas y la fase sólida respectivamente en $[kg \cdot kmol^{-1}]$. Los productos como resultado de la combustión de ceniza son CO , CO_2 y vapor de agua y un parámetro importante a calcular es la relación χ que corresponde a la tasa: CO/CO_2 que depende de la temperatura actual de combustión (Equilibrio de Boudouard [30]) que proviene de la ecuación:

$$\chi = \left(\frac{k_{cc}}{1 + k_{cc}}\right) \quad \text{con } k_{cc} = 2500 \cdot \exp\left(-\frac{6420}{T_{solid}}\right) \quad (14)$$

El CO alcanza la superficie de la partícula y es parcialmente oxidado a CO_2 en la fase gaseosa de acuerdo a la reacción de la ecuación (2) entonces:

$$r_{c2} = \varepsilon \cdot A_{c2} \cdot X_{CO} \cdot (X_{O_2})^{0.5} \cdot (X_{H_2O})^{0.5} \cdot \exp\left(-\frac{E_{c2}}{T_{gas}}\right) \quad (15)$$

Donde $r_{quim,c2}$ es la tasa de reacción química de la reducción, ε el coeficiente de vacío y X_{CO} , X_{O_2} , X_{H_2O} las concentraciones molares de CO , O_2 y H_2O respectivamente en $[kmol]$.

III. CONCLUSIONES

Los procesos de gasificación de residuos de biomasa tienen un elevado impacto y viabilidad como alternativa energética en las comunidades principalmente rurales.

El modelo matemático en estado estacionario en una dimensión para cada una de las zonas de reacción en un gasificador de lecho fijo en contracorriente operado con briquetas de biomasa y carbón se ha obtenido para su posterior solución con datos reales de medición.

El modelo dinámico se fundamentó en un conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden estables donde se tuvieron en cuenta las propiedades de las reacciones químicas relevantes y presentes en las zonas del proceso de gasificación, derivadas de la literatura y la implementación del modelo.

Queda pendiente como trabajo posterior a este trabajo las simulaciones respectivas e identificación de los modelos sobre la operación real de la planta piloto de gasificación para comparar y validar los resultados obtenidos teóricamente.

El modelo obtenido también es adecuado para otros combustibles de biomasa como madera, ajustando las propiedades físicas y datos de pirólisis respectivos.

Los modelos obtenidos mediante ecuaciones dinámicas se destacan por su simplicidad, facilidad de implementación y bajo costo computacional para su cálculo y posterior control.

IV. Referencias

- [1] H. González, C. García, y R. Talero, “Estudio de planta piloto para peletización de residuos madereros y su utilización como combustible en hornos ladrilleros,” *Revista Tecnura*, Vol. 18, No. 40, pp. 62-70, Abril 2014.
- [2] F. Abnisa, A. Arami-Niya, W. Wan Daud, J. Sahu, and I. Noor, “Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis,” *Journal on Energy Conversion and Managment*, Vol. 76, pp. 1073-1082, Sept. 2013.
- [3] B. Matveev, V. E. Messerle, and A. B. Ustimenko, “Investigation of plasma-aided bituminous coal gasification,” *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 37, No. 4, pp. 580–585, Apr. 2009.
- [4] N. Abani and A. F. Ghoniem, “Large eddy simulations of coal gasification in an entrained flow gasifier,” *Fuel*, Vol. 104, pp. 664–680, Feb. 2013.
- [5] J. Xu, L. Qiao, and J. Gore, “Multiphysics well-stirred reactor modeling of coal gasification under intense thermal radiation,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 38, no. 17, pp. 7007–7015, June 2013.
- [6] R. Guo, G. Cheng, and Y. Wang, “Texaco coal gasification quality prediction by neural estimator based on dynamic PCA,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom.*, Luoyang, China, June 2006, pp. 2241–2246.
- [7] K. Kostur and J. Kacur, “Developing of optimal control system for UCG,” in *Proc. 13th Int. Carpathian Control Conf.*, Podbanske, Slovak Republic, May 2012, pp. 347–352.
- [8] F. J. A. Wilson, M. Chew, and W. E. Jones, “State estimation-based control of a coal gasifier,” *IEE Proc. Control Theory Appl.*, Vol. 153, No. 3, pp. 268–276, 2006.
- [9] J. U. Castellanos, y C. A. Forero, “Ingeniería básica y de detalle para la instrumentación de una planta prototipo de gasificación de lecho fijo,” *Revista ITECKNE*, Vol. 12, Núm. 2, pp. 146 – 155, Dic. 2015.
- [10] C. Guerrero, F. Sierra y S. Ramírez, “Procesos de gasificación de materiales orgánicos,” Bogotá, Colombia, Asociación de Ingenieros Mecánicos de la Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [11] A. Gómez, W. Klose, y S. Rincón, *Pirólisis de biomasa: cuesco de palma de aceite*. Kassel, Alemania: Kassel University Press, 2009.
- [12] ASTM Standard E1755-01, Standard test method for ash in biomass, ASTM International, West Conshohocken, 2007.
- [13] ASTM Standard E871-82, Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels, ASTM International, West Conshohocken, 2013.
- [14] ASTM Standard E872-82, Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels, ASTM International, West Conshohocken, 2013.
- [15] S. Lee, *Handbook of Alternative Fuel Technologies*, Chapter 2. Gasification of Coal, CRC Press 2007.
- [16] S. Chopra, and A. Jair, “A Review of Fixed Bed Gasification Systems for Biomass”, *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal*, Vol. IX, No. 5, pp. 1-23, Apr. 2007.
- [17] M. Gabra, E. Pettersson, R. Backman, and B. Kjellstrom, “Evaluation of cyclone gasifier performance for gasification of sugar cane Residue part 1: gasification of bagasse,” *Biomass Bioenergy*, Vol. 21, Issue 5, pp. 351-369, Nov. 2001.
- [18] P. Mckendry, “Energy production from biomass (part 3): gasification technologies”, In: *Bioresource technology*, Vol. 83, pp. 55–63, 2002.
- [19] R. Fernando, *Developments in modelling and simulation of coal Gasification*, IEA Clean Coal Centre, Feb. 2014.
- [20] D. Adams, A. Carpenter, A. Collot, G. Couch, R. Fernando, C. Henderson, A. Kristiansen, S. Mitchell, R. Moreea-Taha, P. Nilsson, and D. Scott, *Gasification – fundamentals and processes*, London, UK, 2009.
- [21] E. Makarov, and G. Kharlarnpovich, *Chemical technology of solidfuels Fossil: A Textbook for high schools*, Chemistry, 1986, p. 496.
- [22] W. Qinglai, and L. Derong, “Adaptive Dynamic Pro-

gramming for Optimal Tracking Control of Unknown Non-linear Systems With Application to Coal Gasification”, IEEE Trans. on Automation Science and Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 1020 – 1037, Oct. 2014.

[23] N. Gopalsami and A. C. Raptis, “Acoustic velocity and attenuation measurements in thin rods with application to temperature profiling in coal gasification systems,” IEEE Trans. Sonics Ultrasonics, Vol. 31, No. 1, pp. 32–39, Jan. 1984.

[24] A. Engelbrecht, B. North, B. Oboirien, R. Everson, and H. Neomagus, Fluidized-bed gasification of high-ash South African coals: An experimental and modelling study, IFSA 2011, Industrial Fluidization South Africa: Edited by A. Luckos & P. den Hoed, 2011.

[25] C. A. Smith and A. B. Corripio, Principles and Practices of Automatic Process Control, 3rd Ed. Wiley, Aug. 2005.

[26] D. Purnomo, “Model for a downdraft solid fuel combustor,” PhD thesis, University of Wisconsin, 1998.

[27] R. J. Staudinger, “Cracking reactions of tar from pyrolysis of spruce wood fuel,” Journal Fuel, Vol.80, Issue 10, pp. 1379-1389, Aug. 2001.

[28] U. Ghani, Fbed-1: fixed bed coal combustion and gasification model with a generalized coal devolatilization submodel measurement and modeling of advanced coal conversion processes, Vol. III, 1993.

[29] R. Tosato, “Modeling and testing a cogeneration plant base on wood gasification,” In: 7th Conf. on industrial furnaces and boilers, Hamburg, Italy, Jul. 2009.

[30] C. Lucas, “High temperature air/steam gasification of biomass in an updraft fixed bed batch type gasifier,” PhD thesis, School of Industrial Engineering and Management, Royal Institute of Technology, 2005.

mentación Industrial y Automatización de Procesos Industriales. fabian.jimenez02@uptc.edu.co.



Marco Antonio Ardila Barragán recibió su título de Ingeniero Metalúrgico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en 1997, Especialista en Diseño Mecánico por Computador de la Universidad Antonio Nariño en 2002. Maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte en el 2009 y Candidato a PhD en Ingeniería y Ciencia de los Materiales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Profesor Asistente de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y miembro del Grupo de Investigación en Carbones y Carboquímica. Entre sus campos de interés y desarrollo se destacan Carboquímica, Diseño de Equipo y Maquinaria Industrial, Pirolisis de Materiales Carbonosos y Tecnologías Limpias. marco.ardila@uptc.edu.co.



Andrés Fernando Jiménez López Graduado de Graduado de Ingeniería Electrónica en 2003, Maestría en Ciencias de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia en 2011 y actualmente cursando el Doctorado en Ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia. En la actualidad se desempeña como Profesor Asistente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de los Llanos y es miembro del Grupo de Investigación MACRYPT. Experiencia en investigación en los siguientes campos: Agricultura de Precisión, Sensores Remotos, Mecánica Aplicada, Automatización y Sistemas de Control. ajimenez@unillanos.edu.co

V. Autores



Fabián Rolando Jiménez López Graduado de Ingeniería Electrónica en 2000 y Especialización en Automatización Industrial en 2002 de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Maestría en Ingeniería con énfasis en Automatización y Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia en 2011. Actualmente es Profesor Asistente de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, pertenece al Grupo de Investigación I2E. Experiencia en investigación en los siguientes campos: Control Electrónico, Procesamiento Digital de Señales e Imágenes, Instru-

Alcoholismo en Estudiantes de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Un Enfoque de Dinámica de Sistemas.

Jose E. Solano, David Sánchez, Diego Sosa
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Resumen—El alcoholismo ha sido objeto de innumerables análisis en diferentes casos de estudio, para determinar y describir el comportamiento de la población, con el fin de poder tomar decisiones que diezmen las problemáticas generadas. El objetivo de este artículo es dar un enfoque desde la dinámica de sistemas abordando el consumo de alcohol de los estudiantes de ingeniería de sistemas y computación de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, proyectándolos a un futuro mediante las fases de alcoholismo que estableció el Dr. Jellinek, para así poder determinar el comportamiento de la población en las variables que influyen en el consumo progresivo de alcohol. Se obtienen resultados de la cantidad de estudiantes que por su comportamiento se encuentra en cada fase de alcoholemia, conjunto con la caracterización de cada fase, evidenciando la problemática que aqueja a los estudiantes universitarios; en este caso se da una posible solución para reducir los índices de consumo y evitar el progreso en la escala.

Términos del Índice—, alcoholismo, estudiante universitario, Consumo de bebidas alcohólicas.

Abstract—Alcoholism has been the subject of countless analyses in different cases of study, to determine and describe the behavior of the population, in order to be able to make decisions that decimate the problems generated. The objective of this article is to give an approach from the dynamics of systems addressing the consumption of alcohol of the students of systems engineering and computer science of the Pedagogical and Technological University of Colombia, looking to a future through the phases of alcoholism established by Dr. Jellinek, in order to determine the behavior of the population in the variables that influence the progressive consumption of alcohol. Results are obtained of the number of students who by their behavior is in each phase of alcohol, together with the characterization of each phase, evidencing the problematic that afflicts the university students; In this case there is a possible solution to reduce consumption rates and avoid progress on the scale.

Index Terms—System dynamics, alcoholism, university student, Alcohol consumption.

I. INTRODUCCION

EL alcoholismo ha sido el problema de investigación en salud mental más relevante a través de los años, tanto a nivel nacional como mundial; Las derivaciones psicopatológicas del consumo apuntan a la conformación de trastornos psicológicos, la afectación de las relaciones sociales y el deterioro sustancial de la calidad, expectativa de vida y las actividades instrumentales de la vida diaria de personas y comunidades, condición que afecta de forma análoga el funcionamiento de los grupos y familias que la componen[1]. El alcohol es el tercer factor de riesgo para diferentes enfermedades y discapacidad a nivel mundial y el primero en las Américas; Las prevalencias de consumo general en la región están entre el 40 y el 50% en países como Argentina, Brasil, Bolivia y Uruguay; mientras que en Colombia el consumo al menos una vez en la vida llega al 86%[2]. Según el II Estudio Epidemiológico Andino sobre Consumo de Drogas en la Población Universitaria entre los consumidores de alcohol en el 2012, un 39,7% de los estudiantes de Bolivia, un 36,6% en Ecuador, un 31,1% en Colombia y un 25,1% en Perú califican como consumidores que presenta riesgo o uso perjudicial de alcohol[3].

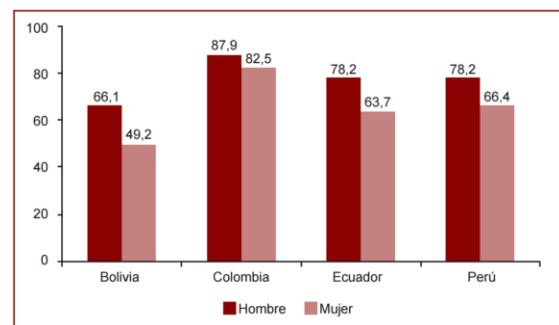


Fig 1. Prevalencia en el año 2012 de consumo de alcohol en estudiantes universitario según sexo, por país.

El último estudio nacional de consumo de drogas en Colombia 2013 muestra que cerca de 2,6 millones de personas, un 11,1% de la población total (12-65 años), presentan un consumo problemático de alcohol, de estas, 276.367 personas presentan comportamientos indicativos de dependencia; el mayor compromiso

se encuentra en el grupo de edad entre los 18 y 24 años, el consumo afecta especialmente jóvenes y adultos en edad productiva[4]. El alcohol, además de los numerosos problemas médicos que produce, es también una fuente de problemas sociales[5].

Para el caso más específico en Tunja según el estudio de consumo de sustancias psicoactivas y factores determinantes en población universitaria en el 2010 se encontró que el 94,6% de los estudiantes encuestados han consumido alcohol alguna vez en su vida[6]; siendo preocupante la cifra que fue arrojada y no es negada pues la evidencia en concordancia con la estadística es detallar la afluencia de estudiantes universitarios a establecimientos que expendan licor, demostrando una aún más que el alcohol es una de las sustancias psicoactivas preferidas[7].

Como cualquier otro consumo es debido a una serie de factores que se encuentran en su entorno y diario vivir, dentro de los factores de riesgo que se han asociado con el consumo, se han identificado factores biológicos (como la predisposición genética) y factores psicológicos (p. ej., la autoestima, los estados emocionales, los problemas de comportamiento, el autocontrol, las habilidades sociales y emocionales, los estilos de afrontamiento, etc.) y factores sociales y ambientales (las relaciones familiares, grupales e institucionales, la influencia del entorno social, económico, cultural y político, la influencia mediática, entre otros)[7]; además cabe resaltar que los lugares en que los estudiantes consumen alcohol, generalmente son sitios públicos que ofrecen música, comida y bebida, o las fiestas (privadas)[8].

El creciente impacto negativo del alcohol ha ejercido una presión Gubernamental para emprender acciones concretas para abordar estas cuestiones; Posibles acciones Incluyen el aumento de la edad legal para beber, el endurecimiento de las legislaciones de licencias para el alcohol Vendedores, aumentar los impuestos, restringir la publicidad del alcohol o implementar Programas de sensibilización[9]; adicionalmente instituciones como la Organización Mundial de la Salud mediante medidas normativas e infraestructura aplican correctamente en la reducción del uso nocivo del alcohol en la salud pública a nivel mundial [10], mientras en Colombia existe la Estrategia Nacional De Respuesta Integral Frente Al Consumo De Alcohol[11] apoyada con el plan decenal de salud pública 2012-2021 que en sus prioridades se definieron estrategias para contrarrestar el consumo nocivo de alcohol en la población en general[12] y por ultimo para la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) mediante resolución 4900 del 2015 adopta la política de prevención y reducción del daño por consumo y uso perjudicial de tabaco, alcohol y sustancias psicoactivas, conjunto con el bienestar universitario que pretende el mejoramiento de la calidad de vida, la inclusión social y del desarrollo de la comunidad universitaria; todo esto como proceso misional de la UPTC.

La magnitud que aquí se describe en cuanto al alcoholismo ha sido desde hace tiempo de relevancia para la sociedad en general,

el consumo se ha convertido en un foco de estudio y de desarrollo de procesos que buscan el bienestar social, pero en la cotidianidad la progresión de ingesta de bebidas alcohólicas ya es un ítem cultural establecido en muchas ocasiones o situaciones que vive la población colombiana.

Tal influencia de consumo afecta el transcurso de las actividades académicas de los diferentes niveles educativos, y como la población universitaria casi en su totalidad es mayor de edad tiende ya sea por esparcimiento o dependencia a sustancias lícitas que desencadenan una serie de comportamientos nocivos en la sociedad.

II. PROBLEMÁTICA

La población universitaria desde sus inicios en la academia se ve inmerso en un ambiente lleno de factores de influencias, tanto positivos o negativos desde una perspectiva moral de la sociedad. Así, los estudiantes dependiendo de variables que los afectan pueden estar tentados a ingresar o continuar con el consumo de sustancias perjudiciales para su desarrollo personal y afectando su calidad de estudiante, dificultando la labor de aprendizaje y generando problemáticas tanto particulares como generales. En la UPTC predomina el consumo de alcohol como sustancia psicoactiva en los estudiantes. Esto sucede ya sea por la influencia de otras personas, problemas familiares, carga académica, reuniones sociales, afectaciones de salud mental, masificación de los puntos de ventas o adicción ya establecida. Con la continuación progresiva de la situación que se lleva a cabo en la población de estudio seguirán las deserciones estudiantiles, los bajos rendimientos académicos, problemas de salud y mentales, además de problemáticas de índole social, económico y medico fuera del entorno universitario.

III. MÉTODO

Esta investigación tiene un enfoque descriptivo. La población fueron estudiantes de ingeniería de la sede Tunja de la UPTC y la segmentación de estudio se tomó los alumnos adscritos al programa de ingeniería de sistemas y computación, con un total de 371 matriculados en la seccional de Tunja. La muestra fueron 100 estudiantes discriminado el semestre en curso y estrato socioeconómico, su edad promedio fue de 21.6 años, distribuidos de manera uniforme entre hombres (78 %) y mujeres (22 %).

Instrumentos

La investigación para la medición y análisis utilizó como base un instrumento avalado por la Organización Mundial de la Salud; el Test de Identificación de Trastornos por consumo de alcohol o AUDIT[13] la cual consta de diez preguntas cerradas, cada una con cuatro alternativas de respuesta, con el fin de aplicarla a los estudiantes de ingeniería y poder así determinar un patrón de con-

sumo perjudicial o de riesgo de alcoholismo. Al test los autores le adicionaron preguntas acerca de una escala de depresión (0 a 10) que media en qué grado el estudiante consumiría alcohol y una escala de motivación la cual media el nivel en el que el estudiante no consumía.

El estudio toma la escala de alcoholismo definida por el Dr Jellinek[14], consta de 4 fases y 45 niveles que describen el comportamiento de una persona desde el inicio en el consumo de alcohol y como con la adicción pasa por una serie de situaciones que desencadenan un alcoholismo cada vez más marcado e incluso la muerte.

IV. DATOS OBTENIDOS

El consumo en general fue medido teniendo en cuenta dos aspectos, en primer lugar, la frecuencia como criterio de selección y en segundo lugar el puntaje total del test AUDIT para la clasificación en los cuatro niveles de consumo, en la Figura No. 2 se puede observar que el 10% (37) de la muestra eran no consumidores, el 64% (239) consumidores moderados, el 25% (91) con consumo abusivo y el 1% (4) dependientes.

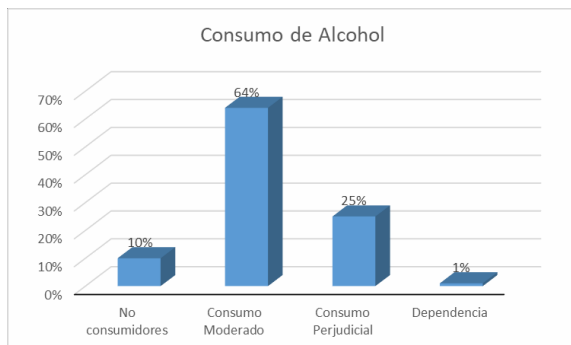


Fig 2. Consumo de alcohol en la población de estudio.

A partir de determinar el consumo de alcohol se consolida la Tabla 1, en la que se relacionan cantidad de estudiantes con el nivel de alcoholismo en el que se encuentran.

Fase %	Poblacional N	úmero de estudiantes
No alcohólico	10 3	7
Pre- alcohólico	64 2	39
Prodrómica	25 9	1
Crítica	1	4
Crónica	0	0
Total	100% 3	71

Para el caso de la medición de la depresión, se determinó que el nivel 1 es sentimiento leve de depresión-ansiedad mientras que el 10 es el máximo posible sentido por una persona. La inclinación

por consumo gira entorno a un grado de 7 en el que la persona acude al alcohol para tener un estado de bienestar o de desinhibición.

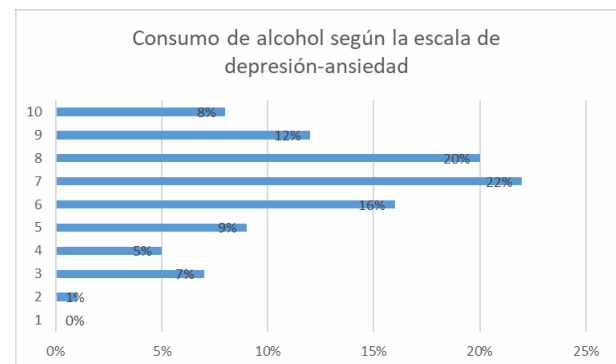


Fig 3. Porcentaje de consumo según la escala de depresión.

Con la aplicación de la prueba se evaluaron las diferencias existentes entre hombres y mujeres, encontrándose diferencias significativas por género respecto de las creencias en torno al consumo de alcohol, los hombres tenían mayores expectativas frente al efecto de las bebidas alcohólicas como facilitadores de la interacción social que las mujeres

V. MODELADO DEL SISTEMA

El objetivo de modelaje del sistema es producir un acercamiento de la realidad por medio de un modelo simulado que ayude en la toma de decisiones abordando el consumo de alcohol como problema de salud pública. Tomando además una perspectiva universitaria en la cual influye de cierta manera el entorno educativo.

A. Diagrama causal:

El modelo conceptual ayudo a identificar variables y relaciones que describen el comportamiento del sistema. En primer lugar, el modelo se basó en la escala mencionada anteriormente para el alcoholismo con los 4 niveles que en él se encuentran:

1) Nivel 0: Estudiante no alcohólico:

Se toma el nivel cero para este modelo por hallar estudiantes en condiciones de no consumo y estar dedicados al estudio. Tomando lo anterior como se observa en la figura 2 hay alimentación académica para estudiantes no consumidores.

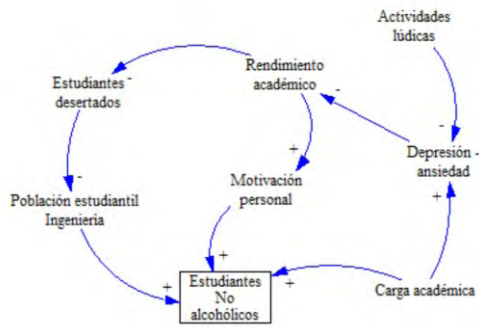


Fig 4. Perspectiva del estudio como medio de no consumo de alcohol.

2) Nivel 1: Estudiante Pre-alcohólico:

Consecuentemente del nivel 0 se derivan las actividades sociales que determinan a un cierto número de estudiantes en el inicio de ingestión de alcohol. En esta fase el estudiante tiene la sensación de que el alcohol le procura un estado de bienestar o de desinhibición que le “ayuda en algo”. Además, se resalta el ciclo de la oferta de alcohol mediante la demanda que generan los estudiantes y población ajena a la universidad.



Fig 5. Factores que inciden en el inicio del alcoholismo estudiantil.

3) Nivel 2: Estudiante Prodrómico:

A partir del nivel 2 el estudiante está inmerso en alcohol y según Jellinek en esta etapa se bebe a escondidas, hay mucha avidez por la bebida, evita hablar del alcohol, tiene sentimientos de culpa, y aparece la amnesia alcohólica, así que aparecen variables en cuanto al consumo, la depresión y la adicción, pero aparece el control de crecimiento de este nivel por medio de los programas de concientización, que son los ofrecidos por el gobierno o por el bienestar estudiantil de la UPTC, de la mano con actividades lúdicas que distraen de la posibilidad de beber, aunque tales actividades se toman por criterio del estudiante.

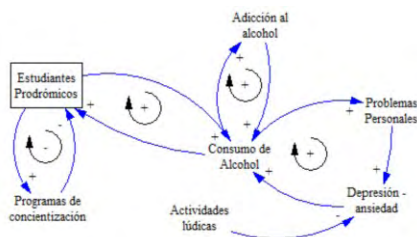


Fig 6. Consumo de alcohol como factor determinante en los estudiantes pro-

drómicos.

4) Nivel 3 y 4: Estudiante crítico y crónico:

Estos dos niveles están relacionados entre sí por cuestiones médicas y variables agravantes de consumo (adicción, frecuencia y dependencia) que situaran a los estudiantes en las peores fases del alcoholismo. Aunque, la medicina ofrece la solución más utilizada, que en primer caso generalmente ataca la salud mental, pero si persiste entra a jugar la psiquiatría y en un último lugar el tratamiento a enfermedades derivadas del consumo. Cabe destacar además que en mayor medida en estas etapas se genera los problemas sociales.

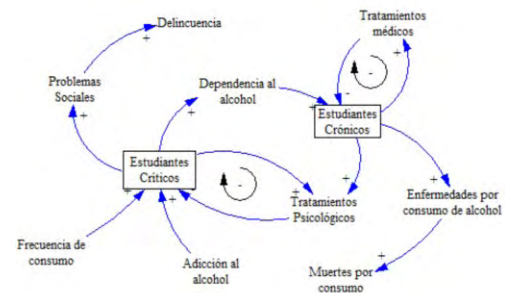


Fig 7. Últimos dos niveles de alcoholismo con respecto a su tratamiento (control) y transición entre ellos.

En la figura 6 se muestra la consolidación del modelo conceptual donde las relaciones determinan las transiciones entre niveles.

B. Diagrama de Forrester

Con base en el diagrama conceptual o causal, se elaboró un modelo de simulación para permitir la obtención cuantitativa de los niveles del sistema a lo largo de un periodo de 8 trimestres, tomado así la simulación a lo largo de dos años, periodo que comprende de 2017 a 2018 (al cabo de este periodo la mayoría de la población estudiada terminara académicamente), para poder observar y analizar el comportamiento cada determinado tiempo a partir del estado inicial del sistema.

Para el modelo fue necesario analizar factores subjetivos y darles un tratamiento cuantitativo. Se comenzó por determinar la cantidad de estudiantes en cada nivel como se observa en la Tabla I del análisis de datos.

De forma general las tasas están determinadas por el porcentaje de estudiantes que tuvieron asistencia o participación ya sea en actividades lúdicas, programas de concientización...; la disponibilidad y consumo de alcohol está determinado por la cantidad de estudiantes por nivel.

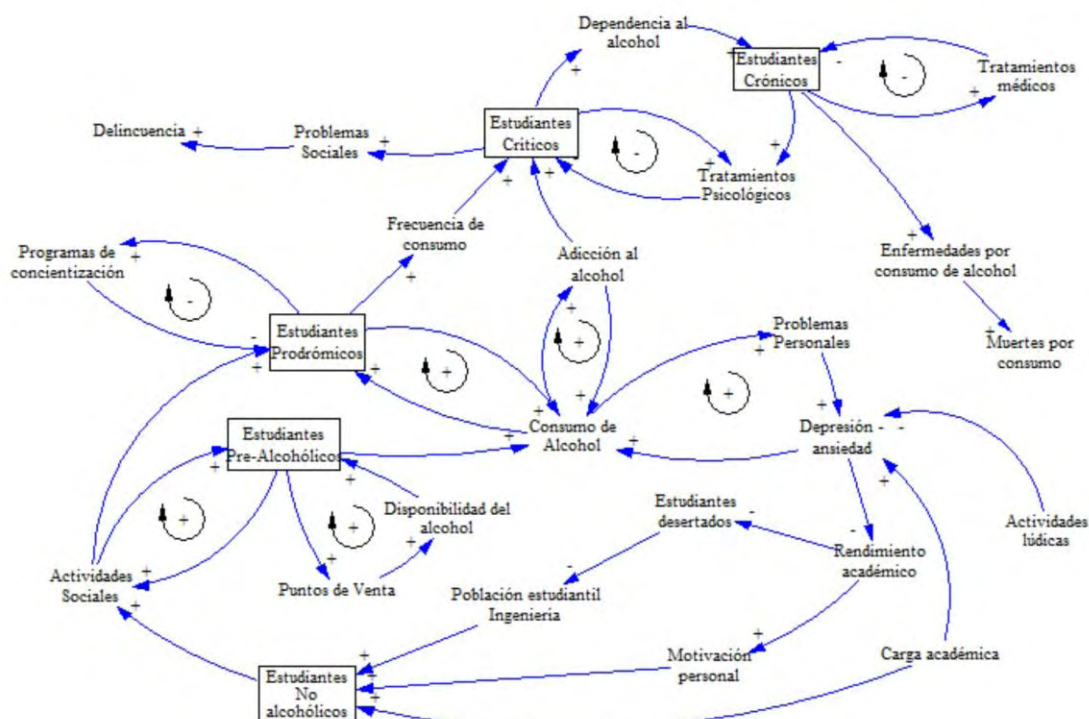


Fig 8. Diagrama Causal Final: Relación entre los niveles establecidos.

Determinando así un flujo cíclico entre estados, donde determinadas variables afectaban al estudiante y podría seguir en la escala de alcoholemia, o, por el contrario, llegar a un estado más bajo de consumo.

VI. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Con el modelo de simulación se ejecutó con los datos iniciales de la investigación y procesamiento estadístico que fue denomina-

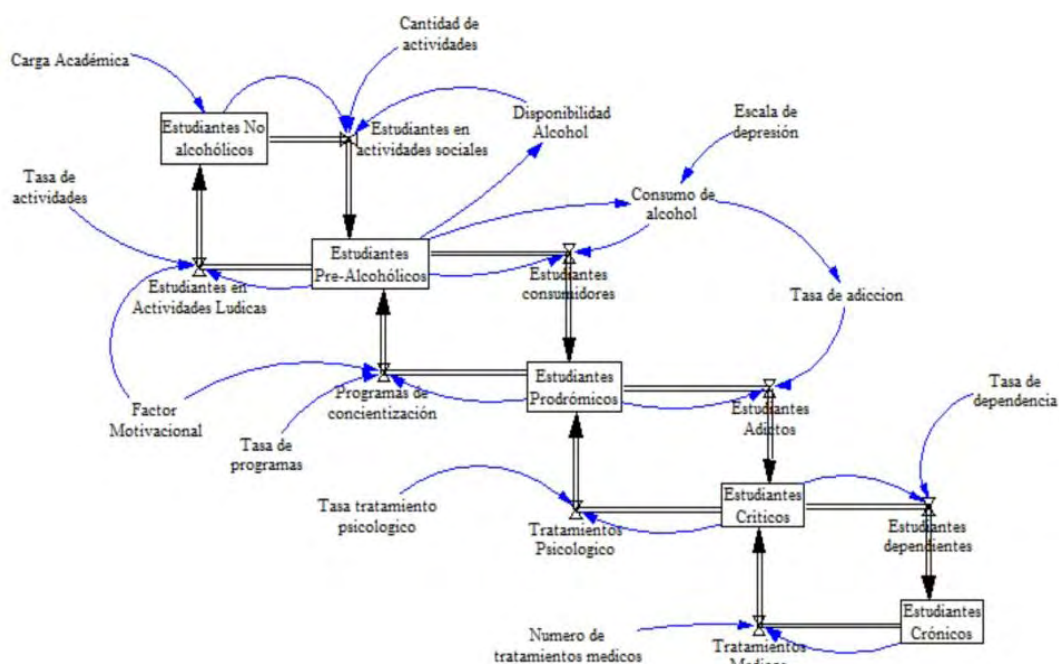


Fig 9. Modelo de simulación de alcoholismo en los estudiantes universitarios.

do **Simulación Inicial**. La variación en las actividades lúdicas y de concientización fue de un 20% y se determinó así **Simulación Caso 1**. Por último, se puso en contraposición el aumento del 20% en la cantidad de actividades y la depresión de los estudiantes dando el comportamiento la **Simulación Caso 2**.

Para el primer nivel de alcoholismo se observa notoriedad en la prevalencia de no consumo al estar los estudiantes en actividades que les ocupan el tiempo o en programas que los concienticen acerca de los riesgos de consumo, pero en la simulación inicial es preocupante como se tiende a menor número de estudiantes.

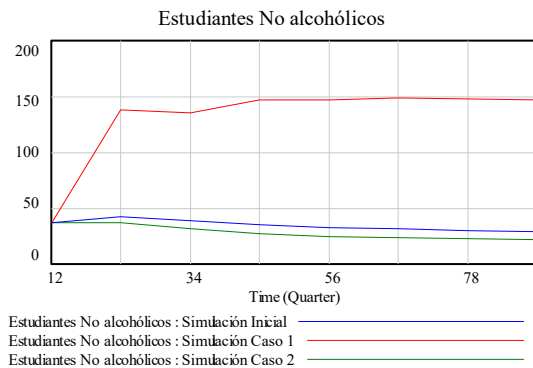


Fig 10. Simulación para el nivel 0

El comportamiento tiende a ser similar para el nivel 2, donde la variación es durante los 3 primeros trimestres, es decir, antes de concluir el primer año los estudiantes van a cambiar su comportamiento de consumo de alcohol, posteriormente se estabiliza con una tendencia relativamente a la baja, es decir hay un consumo constante de un determinado número de estudiantes.

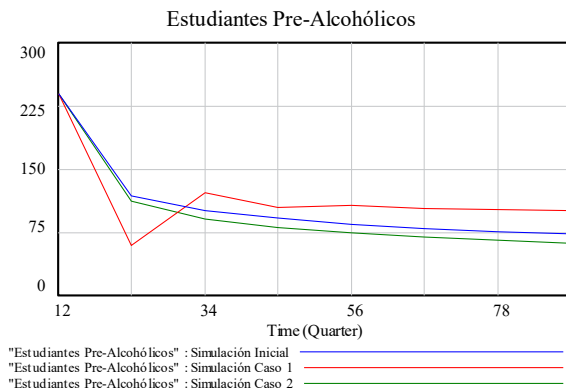


Fig 11. Simulación para el nivel 1

En los estudiantes con sintomatología alcohólica o prodrómicos se observa la notoriedad que influyen las actividades ajenas al consumo de alcohol, pero en la realidad del caso inicial y el caso 2 sigue una tendencia relacionada manteniéndose en casi la mitad de la población de estudio.

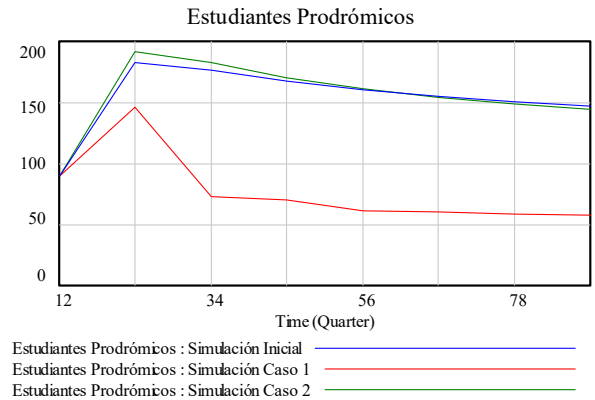


Fig 12. Simulación para el nivel 2

La cantidad de estudiantes críticos a lo largo de 8 trimestres tiene un comportamiento relativo logarítmico con tendencia creciente, es decir, a lo largo de los dos años en cualquiera de los casos simulados en mayor o menor medida aumentan la cantidad de estudiantes.

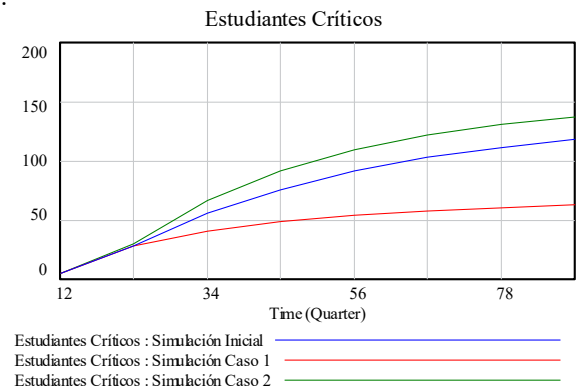


Fig 13. Simulación para el nivel 3

Por último, la relación exponencial del gráfico determina la posibilidad creciente de estudiantes en el peor caso de alcoholismo, determinando así que probablemente 5 estudiantes de la población de estudio tendrán problemas graves que derivan de la adicción de consumo.

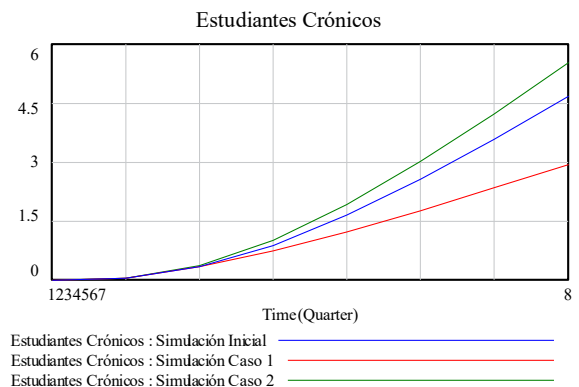


Fig 14. Simulación para el nivel 5

De forma general, para la simulación inicial y simulación caso 2 es evidente la tendencia a los últimos niveles de alcoholismo principalmente al prodrómico. Ya para el comportamiento de la simulación caso 1 se rescata la importancia de tener un mayor número de estudiantes en el primer nivel.

VII. DISCUSIÓN

El enfoque de dinámica de sistemas que se le dio a esta problemática describe la situación en particular de los estudiantes de ingeniería de sistemas y computación de la UPTC, pero de forma genérica el modelo se podrá aplicar a otro tipo de población. En general se evidencia una marcada tendencia entre los jóvenes universitarios a consumir alcohol en un nivel moderado en situaciones sociales principalmente. Esta situación es preocupante para la comunidad; las medidas tomadas por la universidad y el gobierno contribuyen de cierta manera positiva al problema, pero se podrían adicionar medidas de índole académico que limiten a los estudiantes para consumir alcohol de una manera obligatoria.

En la actualidad todavía hay grandes lagunas en identificar e investigar los componentes clave que afectan los patrones de consumo durante un evento en particular, es necesario desarrollar herramientas para el diseño de metodologías, para identificar patrones peligrosos[15], tales patrones de alcoholismo son percibidos de forma subjetiva y los factores de influencia varían de persona en persona, dificultando la labor de investigación y de estudio de la problemática, aunque se logran hallar métodos que controlen el consumo de alcohol en los niveles normales y proposición de planes estratégicos como ya los mencionados por las entidades regionales, nacionales e internacionales.

Por último, en la revisión se propone el uso de la Dinámica de Sistemas como un enfoque holístico para explorar el problema del abuso de alcohol[9].

VIII. CONCLUSIONES

En este artículo se determinó que el abuso de alcohol es un problema sistémico que implica gran número de variables.

Sobre la base de la revisión documental, se desarrolló un diagrama causal de los factores que determinan la progresión de alcoholismo en un estudiante universitario. Este diagrama muestra muchos factores interactuantes que se cree tienen un impacto significativo en el problema que se está investigando, aunque se descartaron otros tantos que no tenían relevancia para el caso de estudio. A continuación, se construyó un modelo de simulación cuantitativo que sirvió para emular la realidad y poder hacer modificaciones que servirían en la toma de decisiones como la de recomendar la generación frecuente de espacios de integración a los estudiantes de ingeniería y programas que informen del agravante del consumo.

El abuso de alcohol es un problema creciente en la población estudiantil, causando problemáticas tanto de salud como de rendimiento académico. La evidencia encontrada sugiere que en los estudiantes en promedio ya se encuentran con sintomatología alcohólica y que al cabo de 2 años probablemente el 1% de la población de estudio se encontrara en la fase más crítica de alcoholismo. El 76 % de los estudiantes del modelo tendrán problemas con el consumo y probablemente patologías derivadas del mismo. El restante 33 % será un consumidor pasivo con poco índice de ingestión de alcohol, manteniéndose en los límites normales que no tiene mayor impacto de afectación.

Finalmente se recomienda continuar con los programas y accionar de las organizaciones en pro de la salud pública, haciendo llegar sus actividades a mayor número de personas con más frecuencia. En la universidad se generen más espacios que integren y motiven la participación de la población estudiantil y el bienestar estudiantil llegue a cada estudiante como parte de su formación personal.

IX. REFERENCIAS

- [1] O. J. Vega y F. Juárez, «Relación entre alcoholismo y rasgos clínicos de personalidad en grupos de alcohólicos anónimos de las principales ciudades de Boyacá (Colombia)», Salud Soc., vol. 1, n.o 2, 2015.
- [2] A. F. Tirado Otálvaro, J. D. Velásquez-Tirado, A. R. Vargas García, y J. H. Toro Ocampo, «Consumo y dependencia a nicotina, alcohol y otras drogas, en docentes de una universidad de Medellín, Colombia», Investig. Andin., vol. 15, pp. 847-858, 2013.
- [3] C. Andina, «II Estudio epidemiológico andino sobre consumo de drogas en la población universitaria», Inf. Colomb., 2012.
- [4] D. Hernández, «Consumo de sustancias psicoactivas en Colombia», Univ. del valle/universidad Libr. Califundar Colomb., 2015.
- [5] E. García Gutiérrez, G. Lima Mompó, L. Aldana Vilas, P. Casanova Carrillo, y V. Feliciano Álvarez, «Alcoholismo y sociedad, tendencias actuales», Rev. Cuba. Med. Mil., vol. 33, n.o 3, p. 0, 2004.
- [6] I. J. P. Vergel, B. P. Torres, G. R. Soto, y F. G. M. Abril, «Consumo de sustancias psicoactivas y factores determinantes en población universitaria de Tunja 2010», Rev. Salud, Hist. Y Sanid. On-Line, vol. 5, n.o 2, 2011.
- [7] L. F. Lema S, M. T. Varela A, C. Duarte A, y M. V Bonilla G, «Influencia familiar y social en el consumo de alcohol en jóvenes universitarios», Rev. Fac. Nac. Salud Pública, vol.

29, pp. 264-271, 2011.

[8] I. C. S. Torres y M. A. Quintero, «El consumo de alcohol, tabaco y otras drogas, como parte del estilo de vida de jóvenes universitarios», *Rev. Colomb. Psicol.*, vol. 13, n.o 1, pp. 74-89, 2004.

[9] A. Tawileh, H. Almagwashi, y S. McIntosh, «A system dynamics approach to assessing policies to tackle alcohol misuse», en *Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society*, 2008.

[10] Organización Mundial de la Salud, «Estrategia mundial para reducir el uso nocivo del alcohol». OMS Ginebra, 2010.

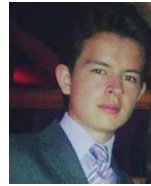
[11] Ministerio de Salud y Protección Social, «Estrategia Nacional De Respuesta Integral Frente Al Consumo De Alcohol En Colombia», 2013.

[12] Ministerio de Salud y Protección Social, «Plan Decenal de Salud Pública 2012 - 2021: La salud en Colombia la construyes tú», vol. 124, 2013.

[13] T. F. Babor, J. C. Higgins-Biddle, J. B. Saunders, y M. G. Monteiro, «Cuestionario de Identificación de los Trastornos debidos al Consumo de Alcohol», *Pautas para su Util. en atención primaria*. Ginebra Organ. Mund. la Salud, 2001.

[14] E. M. Jellinek, «Phases in the drinking history of alcoholics. Analysis of a survey conducted by the official organ of Alcoholics Anonymous (Memoirs of the Section of Studies on Alcohol)», *Q. J. Stud. Alcohol*, vol. 7, n.o 1, pp. 1-88, 1946.

[15] L. F. Giraldo, K. M. Passino, y J. D. Clapp, «Modeling and analysis of group dynamics in alcohol-consumption environments», *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 47, n.o 1, pp. 165-176, 2017.



David Sánchez es estudiante de decimo semestre de Ingeniería de Sistemas y Computación en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Actualmente hace parte del grupo de Investigación en Telemática y TIC aplicada a la Educación (TELEMATICS) de la UPTC.
david.sancheztorres@uptc.edu.co



Diego Sosa es estudiante de noveno semestre de Ingeniería de Sistemas y Computación en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Actualmente hace parte del grupo de Investigación en Telemática y TIC aplicada a la Educación (TELEMATICS) de la UPTC.
diego.sosa@uptc.edu.co

X. Autores



Edison Solano es estudiante de decimo semestre de Ingeniería de Sistemas y Computación en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Actualmente hace parte del grupo de Investigación en Telemática y TIC aplicada a la Educación (TELEMATICS) de la UPTC. Sus intereses de investigación actuales se centran en la Dinámica de Sistemas, tecnologías de realidad virtual y automatización y control en la agricultura de precisión.

joseedison.solano@uptc.edu.co

La Competitividad en Clúster: Una Aproximación Sistémica

S. J. Martínez, PhD (C). Docente Investigador, Universidad de la Costa. N. R. Puello, MsC. Docente Investigador, Universidad de la Costa.

Resumen—Este trabajo presenta una aproximación sistémica para la medición de la competitividad en clúster con Dinámica de Sistemas. El desarrollo de la hipótesis dinámica se avanzó con la construcción de un diagrama causal que relaciona la variable objeto de estudio “Nivel de Competitividad” con seis factores de competitividad asociados: Innovación, Gestión Organizacional, Gestión Económico-Financiera, Gestión Productiva, Gestión Comercial y Gestión del Clúster. El resultado muestra que el sistema clúster es dominado en su estructura por seis ciclos de refuerzo que lo impulsan al crecimiento competitivo, y limitado por un ciclo de balance y variables exógenas, como capacidad crediticia, políticas gubernamentales y capacidad de universidades en la formación de recurso humano competitivo.

Palabras Clave—Competitividad, Clúster, Factores de Competitividad, Dinámica de Sistemas, Hipótesis Dinámica.

I. INTRODUCCIÓN

La competitividad no tiene una clara definición establecida. Su enfoque se enmarca en el contexto en el que se desarrolle. Sin embargo, se representa en el crecimiento de la firma como posicionamiento en el mercado, dominio de marca, precios competitivos, desarrollo y calidad superior de productos y servicios [1].

Por su parte, el concepto de clúster desarrollado por Porter [2], se relaciona a un grupo de empresas cercanas geográficamente que incluye proveedores, industrias relacionadas y de apoyo, entidades gubernamentales e instituciones educativas y centros de investigación. El objetivo de conformación de este conglomerado es crear ventaja competitiva en el mercado a través de alianzas estratégicas entre firmas y convenios de cooperación y colaboración, que les garantice posicionamiento y crecimiento industrial ante cambios en la estructura del mercado y la demanda.

Múltiples estudios se han enfocado en estudiar cualitativa y cuantitativamente la competitividad a nivel empresarial, de clúster, sistémica, regional y de naciones. Sin embargo, en la revisión de estos estudios no se evidencia una aproximación sistémica que permita capturar y entender la complejidad del sistema clúster en términos de la interacción de variables endógenas y exógenas, formación de ciclos de realimentación, retardos, efectos de actores externos, y análisis de escenarios con relación a factores de competitividad.

Este trabajo propone una aproximación sistémica que permita el desarrollo de la hipótesis dinámica en el sistema clúster, bajo el objetivo de medir la competitividad. Se toma como extensión del trabajo desarrollado por Puello [3] en cuanto a la identificación de los factores de competitividad y se desarrolla un diagrama causal que evidencia las relaciones entre estos factores y el Nivel de Competitividad.

Para esto, se utilizó la Dinámica de Sistemas (DS) como método de simulación que facilita el entendimiento de sistemas complejos [4], comprender su evolución en el tiempo en términos de la estructura, analizar relaciones entre variables que se explican a través de la formación de ciclos de realimentación [5] y evaluar políticas para determinar el estado futuro del sistema [6]. Este método ha sido aplicado desde sus inicios al estudio de la estrategia con foco en la dinámica de crecimiento industrial [5], [7].

II. MODELOS DE COMPETITIVIDAD EN CLÚSTER

En el desarrollo de modelos para evaluar la competitividad, Porter [2] es pionero con el modelo conocido como Diamante de la Competitividad, analizando como factores endógenos la producción, demanda, industrias relacionadas y de apoyo, y rivalidad entre empresas. Adicionalmente, en este análisis se considera como factores exógenos el gobierno y eventos fortuitos. Desde sus inicios, el análisis de competitividad en clúster ha sido ampliamente adoptado y replicado en múltiples industrias, sectores económicos y naciones [8].

En los últimos años, este modelo ha sido adaptado al estudio de la competitividad a nivel de industrias nacionales en Jarungkitkul et al. [9], Zhao et al. [10], Chung [11], entre otros. Específicamente, Jarungkitkul et al. [9] desarrolló una evaluación multicriterio en el clúster logístico para los principales países asiáticos, permitiendo diseñar políticas y estrategias de competitividad en términos de logística integral. Así mismo, Zhao et al. [10] lo implementó en la industria fotovoltaica china para analizar principales factores de influencia, mientras que Chung [11] lo aplicó al estudio de competitividad de los mercados de almacenamiento.

Adicionalmente, Puello [3] destaca en la revisión de literatura un modelo posterior al de Porter, denominado “Doble Diamante Generalizado de Competitividad”. Este modelo considera el rol del

gobierno y las empresas multinacionales como factores exógenos adicionales que determinan la competitividad de una nación.

Estos modelos no solo se han aplicado al estudio de competitividad a nivel de naciones. Numerosas investigaciones se han centrado en el análisis a nivel empresarial; tal es el caso de Carayannis, Wei y Wang [12], proponiendo un modelo de competitividad empresarial de doble diamante, con dominio del factor de innovación. Así mismo, Zhang et al., adaptan un modelo de competitividad industrial como función de la posición competitiva de la empresa en el mercado.

Por su parte, Ngoc elaboró un modelo matemático de utilidad multiatributo para medir la competitividad en las empresas, mientras que Benzaquen et al. [13] proponen el desarrollo de un índice de competitividad regional, considerando como pilares el desarrollo económico, la infraestructura productiva, el capital humano, la eficiencia empresarial e instituciones gubernamentales.

A nivel de clúster industrial, Zubieta [14] cuantifica en función de un algoritmo de atributos calificados y ponderados, factores de producto y precio, demanda, calidad, participación en el mercado y capacidad competitividad a mediano y largo plazo. Así mismo, Stavroulakis y Papadimitriou [15] proveen factores estratégicos para aumentar la competitividad en clúster marítimos, de acuerdo a una revisión sistémica de literatura.

En esta misma línea, Fundeanu y Cosmin [16] muestran como las empresas adquieren mayor ventaja competitiva al pertenecer al clúster de innovación, dado los procesos de transferencia tecnológica, redes de información y acumulación de conocimiento. Tan [17] explica el crecimiento de los clúster industriales y la innovación con base en el caso de éxito de parques tecnológicos en China, concluyendo que el ambiente de innovación favorece el crecimiento de estas aglomeraciones industriales.

De forma general, los modelos cuantitativos desarrollados para medir la competitividad en clúster industriales reportados en la literatura, evidencian un vacío académico en cuanto a la construcción de una base empírica entre los clúster y la competitividad [3]. En este sentido, Lin [1] enfatiza en la necesidad de modelos que estudien estos sistemas más allá de un análisis de cadena de suministro.

En cuanto a los factores de competitividad relacionados a estos modelos, Puello [3] establece que en la práctica no existe un consenso claro de los pilares de competitividad a nivel de clúster, debido a que el proceso de elección responde a múltiples criterios. Con el fin de compilar diversos enfoques en cuanto a los factores de competitividad, Puello [3] realiza la siguiente clasificación con base en la revisión de literatura:

Innovación, Gestión Organizacional, Gestión Económico- Financiera, Gestión Productiva, Gestión Comercial y Gestión del

Clúster.

III. DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADO A LA COMPETITIVIDAD EN CLÚSTER

Si bien, analizar de manera sistémica una compañía, empresa u organización es un proceso complejo por la cantidad de variables, interacciones, retardos y formación de relaciones causales, estudiar a nivel sistémico un clúster aumenta el grado de complejidad por la inclusión de los diversos actores endógenos y exógenos. Bajo este enfoque, realizar una aproximación con DS para el análisis de estos sistemas, facilita el entendimiento y comprensión de estas relaciones, la evaluación de políticas y la toma de decisiones en términos de aumento de la competitividad.

Aunque es poco el reporte literario de las aplicaciones de DS al estudio de Clúster, los trabajos desarrollados evidencian oportunidades de investigación en esta temática, con miras al análisis cuantitativo de la competitividad en un entorno empresarial global. En este sentido, Dangelico, Garavelli y Petruzzelli [18] analizan la complejidad dinámica generada por el conocimiento y proximidad en firmas asociadas a un clúster de tecnologías. Así mismo, Carbonara y Giannoccaro [19] desarrollaron un modelo con DS para evaluar como la proximidad de estas empresas afecta la competitividad de los clúster, considerando las características estructurales que competen a estos distritos industriales.

Por su parte, Lin et al. [1] desarrollan un Diagrama Causal para analizar las relaciones entre los factores que afectan la competitividad en un clúster industrial. Con base en la revisión de la literatura, argumentan la eficiencia de esta metodología en el estudio de estos sistemas y establecen cuatro factores principales que influyen en la competitividad de un clúster: fuerza de trabajo, tecnología, capacidad económica (dinero) y mercado. El diagrama causal resultante es dominado por ciclos de realimentación positivos que fomentan el crecimiento del sistema clúster en términos de competitividad.

De forma más estructurada, Aparicio, Urbano y Gómez [20] realizan una aproximación sistémica para estudiar el rol del emprendimiento basado en innovación en los escenarios de ciclos de negocios para Colombia, con foco en la evaluación de políticas públicas que promuevan el crecimiento económico nacional. Los resultados preliminares evidencian que se requiere alcanzar mayor grado productividad, competitividad y colaboración internacional para cumplir con los objetivos de crecimiento propuestos. Para esto, el emprendimiento basado en innovación desempeña un rol de importancia para el crecimiento económico sostenible a largo plazo. Específicamente, los resultados de la simulación en un escenario positivo muestran crecimiento económico de 6.77%.

En esta misma línea de crecimiento económico nacional, Martínez y Arango [21] construyeron un modelo de simulación

DS para evaluar la inversión en capacidades de innovación tecnológica que propicien el crecimiento industrial para el sector software en Colombia. Puntualmente, evaluaron diferentes niveles de inversión para la capacidad de I+D, mercadeo y direccionamiento estratégico, analizando su efecto en el comportamiento de las ventas totales. El diagrama causal se caracteriza por el dominio de ciclos de realimentación positivos, siguiendo enfoque “Path Dependence” para crecimiento de mercados industriales.

A nivel sectorial, Gilkinson y Dangerfield [22] elaboraron un modelo formal de simulación con DS para evaluar la competitividad en una empresa genérica del sector de la construcción. Los resultados principales demuestran como el sector de la construcción siempre se ha abordado desde la perspectiva estática de la gerencia de proyectos, y esta nueva visión sistémica facilitó la comprensión de dinámicas internas en las empresas que pueden promover un mejor estado futuro de las mismas, bajo el seguimiento de un indicador de competitividad. Adicionalmente, Ghisolfi, Diniz, Ribeiro, Xavier [23] desarrollaron un modelo con DS para evaluar políticas de logística inversa en la cadena de abastecimiento de portátiles y computadores de escritorio que conlleven a la construcción de un marco normativo en este sistema.

I. DIAGRAMA CAUSAL: COMPETITIVIDAD EN CLÚSTER

El Diagrama Causal es la compilación de modelos mentales a través de técnicas de modelamiento, facilitando la construcción de la Hipótesis Dinámica [6]. Estos diagramas explican la estructura del sistema con la formación de ciclos de realimentación, resultado de la interacción de variables endógenas y exógenas [7], [24]. Los ciclos de realimentación resultantes pueden ser positivos (R - Refuerzo) o negativos (B - Balance). Un ciclo de refuerzo se forma cuando un cambio en la variable de origen causa un efecto en la misma dirección en la variable de llegada, bajo el supuesto de que las demás variables permanecen constantes [6]. En el caso contrario, se generan los Ciclos de Balance.

La Figura 1 presenta el Diagrama Causal agregado a este trabajo. La estructura se construye a partir de la interacción de la variable “Nivel de Competitividad” con los factores de competitividad asociado a clúster, documentado por Puello [3]. De este modo, se evidencian 6 niveles, relacionados a cada factor de competitividad: Innovación, Gestión Productiva, Gestión Financiera, Gestión Organizacional, Gestión Comercial y Gestión del Clúster. Para la construcción de esta hipótesis se analizaron los trabajos desarrollados por [25][3], [1], [16], [20]–[23], [15], [17], caracterizados por dominio de ciclos de refuerzo asociado al arquetipo “Éxito de los Exitosos” y enfoque “Path Dependence” [6]. Como factor diferenciador, se evidencia la presencia del ciclo negativo B1, resultante del balance entre la variable demanda y el nivel de producción (cumplimiento de demanda).

Como puede observarse, cada factor de competitividad afecta positivamente a la variable Nivel de Competitividad (líneas

rojas). A partir de la interacción entre los factores, variables auxiliares y variables exógenas, se da la formación de los ciclos de refuerzo. El ciclo R1 se forma como consecuencia del efecto en de los factores de competitividad en el Nivel de Competitividad, y su relación causal positiva con el factor de Gestión Financiera; es decir, a mayor nivel de competitividad del clúster, mejora el factor de gestión financiera a través del respaldo económico para acceder a créditos e incentivos de políticas gubernamentales [1]. El ciclo se cierra con la relación inicial entre este factor y la variable central.

Siguiendo esta dirección, se presenta la formación del ciclo R2 entre la Gestión Financiera, la Innovación y la Gestión Productiva. La realimentación se evidencia en aumento de la gestión financiera, traducida en mayor capital disponible para inversión; en este caso, puntualmente para I+D, aumentando directamente el nivel del factor de innovación. Estas innovaciones afectan positivamente la Gestión Productiva con la implementación de nuevas tecnologías, operaciones, procesos y productos que amplíen la capacidad productiva de las empresas del clúster, aumente la calidad de los productos y/o servicios asociados, reduzca costos y fortalezca el nivel de emprendimiento del clúster en general [1], [20], [22]. El ciclo finaliza con efecto en aumento de rentabilidad, lo cual afecta de forma positiva la Gestión Financiera.

Como efecto del ciclo anterior en la Gestión Productiva, se forma el ciclo R3 con la Gestión Organizacional. La lógica operacional en la formación de este ciclo se basa en que al aumentar la Gestión Productiva, debe aumentarse la Gestión Organizacional para garantizar el crecimiento sistémico del clúster [3]; además, ésta debe encargarse de garantizar y proveer a la Gestión Productiva recurso humano calificado y capacitado para continuar con el refuerzo al nivel de innovación [1], de acuerdo al ciclo anterior. Así mismo, el aumento en la capacidad de Gestión Organizacional fortalece las capacidades administrativas y directivas de estas empresas, centradas en direccionamiento estratégico, planeación a largo plazo, estandarización de operaciones y procesos, formalización del trabajo y decisiones estratégicas [21].

Desde otra perspectiva, se observa como el ciclo R4 fortalece las relaciones causales entre los niveles Gestión del Clúster y Nivel de Competitividad. Esta relación se justifica bajo el supuesto de que a mayor nivel de competitividad del clúster, se requiere mayor gestión del mismo, en términos de apertura y expansión de mercados, representación e institucionalidad, integración, colaboración y cooperación, y alianzas estratégicas entre empresas y actores externos (universidades, centros de investigación, instituciones gubernamentales, entre otras) [3], [16], [23]. Esta última relación da lugar a la formación del ciclo R5 con interacción positiva con la Gestión Comercial. Adicionalmente, la Gestión del Clúster refuerza la Gestión Organizacional en cuanto a la capacidad del recurso humano y direccionamiento estratégico.

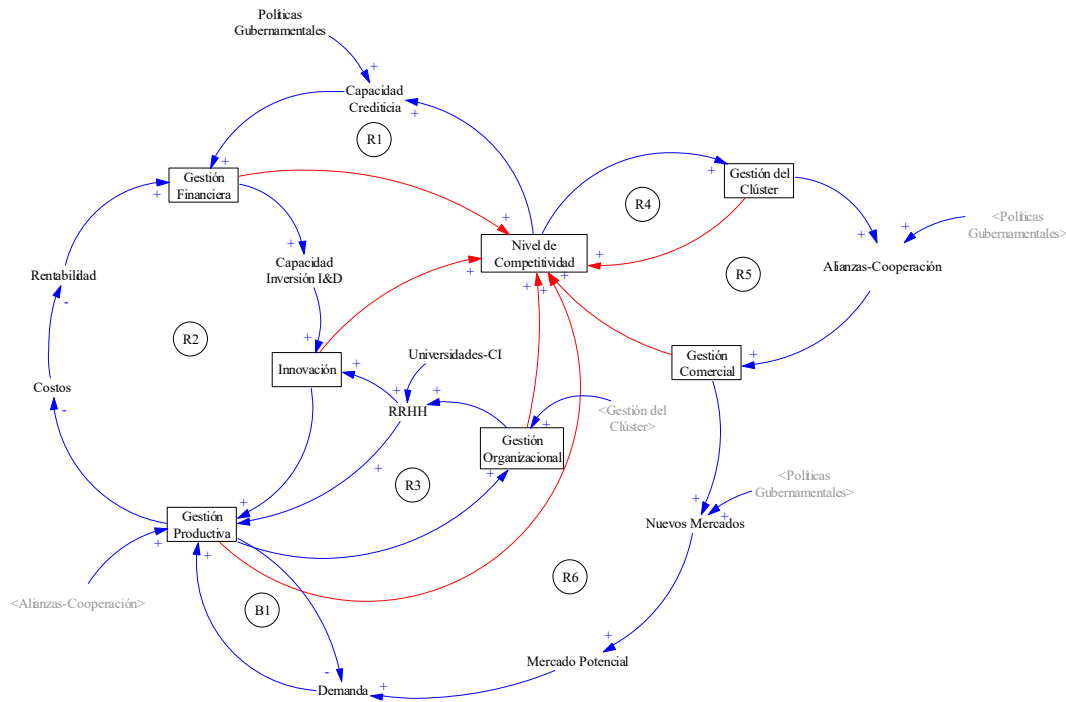


Figura 1. Diagrama Causal Competitividad en Clúster. Elaboración Propia

Finalmente, el ciclo R6 se forma como continuación del ciclo R5, relacionando los factores Gestión Comercial, Gestión Productiva, Gestión Organizacional, Nivel de Competitividad y Gestión del Clúster. En este sentido, la Gestión del Clúster fortalece la Gestión Comercial con la interacción de alianzas y estrategias de cooperación, concentración regional y especialización industrial con proveedores e industrias de soporte [1], [22]. Estas a su vez, amplían la capacidad de expansión a nuevos mercados gracias a la acción de políticas gubernamentales como TLC, por ejemplo; lo que aumenta la porción de mercado potencial y afecta a la variable demanda.

Conocida la relación entre la demanda y la Gestión Productiva, se sigue este proceso hacia el refuerzo de la Gestión Organizacional y el Nivel de Competitividad.

IV. CONCLUSIONES

La revisión de la literatura permite concluir la necesidad de abordar el sistema clúster con metodologías que faciliten la comprensión y entendimiento de la complejidad y dinámica del sistema, en relación a la interacción con las variables que ocasionan la formación de ciclos de realimentación. En este sentido, se evidencia la utilidad de la DS como herramienta de simulación que permite evaluar políticas, analizar escenarios y tomar decisiones con base en el comportamiento del sistema, a través del estudio de su estructura interna.

Con base en lo anterior, en la construcción de la hipótesis dinámica, se desarrolló un diagrama causal que muestra la relación entre la variable objeto de estudio “Nivel de Competitividad” y los factores de competitividad seleccionados como producto del consenso en el proceso de revisión académica. En este sentido, seis factores de competitividad se relacionan causalmente con variables endógenas y exógenas del sistema: Innovación, Gestión Organizacional, Gestión Económico-Financiera, Gestión Productiva, Gestión Comercial y Gestión del Clúster. Variables como demanda, alianzas- cooperación, capacidad crediticia y políticas gubernamentales también son consideradas en este análisis. Además, también se relacionan industrias de apoyo como universidades, indispensables en la formación de recurso humano competitivo de acuerdo a las necesidades del sistema.

El diagrama causal, dominado por la formación de seis ciclos de realimentación positivos entre los diferentes factores, y balanceado por un ciclo negativo entre la demanda y la Gestión productiva, puede asociarse a patrones estructurales “Path Dependence” y arquetipo “Éxito de los Exitosos”, característico en el crecimiento competitivo de los mercados industriales, y en este caso, aplicado al crecimiento competitivo de un clúster.

En trabajos futuros se presenta la construcción de la estructura dinámica de cada nivel o factor de competitividad y el modelo formal de simulación calibrado para el caso del clúster de muebles en el departamento del Atlántico.

REFERENCIAS

- [1] C. Lin, C. Tung, and C. Huang, "Elucidating the industrial cluster effect from a system dynamics perspective," *Technovation*, vol. 26, pp. 473–482, 2006.
- [2] M. Porter, "The competitive advantage of nations. 68(2), 73–93.," *Harvard Bus. Rev.*, vol. 68, no. 2, pp. 73–93, 1990.
- [3] N. Puello, "Modelo para la Medición de la Competitividad en Clusters basado en Dinámica de Sistemas. Caso de Estudio: Clúster de Muebles del Departamento del Atlántico," Universidad Tecnológica de Bolívar, 2016.
- [4] I. Dyner, G. Zapata, and S. Arango, *Modelamiento para la simulación de sistemas socio-económicos y naturales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [5] J. Forrester, "Industrial dynamics," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 48, no. 10, p. 1037–1041., 1997.
- [6] J. Sterman, *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. 2000.
- [7] J. Forrester, "Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers," *Harv. Bus. Rev.*, vol. 36, no. 4, pp. 37–66, 1958.
- [8] P. H. Hsu, J. Z. Shyu, H. C. Yu, C. C. Yuo, and T. H. Lo, "Exploring the interaction between incubators and industrial clusters: the case of the ITRI incubator in Taiwan," *R&D Manag.*, vol. 33, no. 1, pp. 79–90, 2003.
- [9] W. Jarunkitkul and S. Sukcharoensin, "Benchmarking the competitiveness of the ASEAN 5 equity markets: An application of Porter's diamond model.," *Benchmarking An Int. J.*, vol. 23, no. 5, pp. 1312–1340, 2016.
- [10] Z. Zhao, S. Zhang, and J. Zuo, "A critical analysis of the photovoltaic power industry in China—From diamond model to gear model.," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 9, pp. 4963–4971, 2011.
- [11] T. W. Chung, "A Study on Logistics Cluster Competitiveness among Asia Main Countries using the Porter's Diamond Model," *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 32, no. 4, p. 257–264., 2016.
- [12] E. G. Carayannis, V. Wei, and L. Wang, "Competitiveness Model--A Double Diamond," *J. Knowl. Econ.*, vol. 3, no. 3, p. 280, 2012.
- [13] J. Benzaquen, L. Carpio, L. Zegarra, and C. Valdivia, "Un índice regional de competitividad para un país," *Rev. Cepal*, 2010.
- [14] R. Zubieta, J. Villadeamigo, and L. Cianci, "Índice de Competitividad Productiva Aplicado a Empresas o Clusters," *Ind. Manuf.*, 2011.
- [15] P. Stavroulakis and S. Papadimitriou, "The strategic factors shaping competitiveness for maritime clusters," *Res. Transp. Bus. Manag.*, vol. 19, pp. 34–41, 2016.
- [16] D. Fundeanua and S. Cosmin, "The impact of regional innovative clusters on competitiveness," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 124, pp. 405–414, 2014.
- [17] "Growth of industry clusters and innovation: Lessons from Beijing Zhongguancun Science Park," *J. Bus. Ventur.*, vol. 21, pp. 827–850, 2006.
- [18] R. Dangelico, A. Garavelli, and A. Petruzzelli, "A system dynamics model to analyze technology districts' evolution in a knowledge-based perspective. *Technovation*," *Technovation*, vol. 30, no. 2, pp. 142–153, 2010.
- [19] N. Carbonara and I. Giannoccaro, "Interpreting the role of proximity on Industrial District competitiveness using a complexity science-based view and Systems Dynamics simulation," *J. Geogr. Syst.*, vol. 13, no. 4, pp. 415–436, 2011.
- [20] S. Aparicio, D. Urbano, and D. Gómez, "The role of innovative entrepreneurship within Colombian business cycle scenarios: A system dynamics approach," *Futures*, vol. 81, pp. 130–147, 2016.
- [21] S. J. Martínez Marín and S. Arango Aramburo, "Dynamics simulation model for evaluating the investment in technological innovation in the capabilities of Colombia Software industries," *Espacios*, vol. 38, no. 9, 2017.
- [22] N. Gilkinson and B. Dangerfield, "Some results from a system dynamics model of construction sector competitiveness," *Math. Comput. Model.*, vol. 57, pp. 2032–2043, 2013.
- [23] V. Ghisolfi, G. Diniz, R. Ribeiro, and H. Xavier, "System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers," *Waste Manag.*, vol. 60, pp. 14–31, 2017.
- [24] S. Arango, J. Prado, and I. Dyner, "Evaluación de políticas públicas para la reducción de la criminalidad en Medellín: una aproximación con dinámica de sistemas.," *Ensayos sobre política económica*, vol. 27, no. 60, pp. 80–109, 2009.
- [25] J. Morecroft, *Strategic modelling and business dynamics: a feedback systems approach*. John Wiley & Sons., 2015.

V. Autores

Sindy Johana Martínez Marín. Ingeniera Industrial, Universidad Nacional de Colombia. MSc. Ingeniería – Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. PhD.(C) Doctorado en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Gestor Tecnológico de la Innovación, Universidad Politécnica de Madrid. Docente Adjunto, Departamento de Gestión Industrial, Agroindustria y Operaciones, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. Email: smartine31@cuc.edu.co

Nataly del Rosario Puello Pereira Ingeniera Industrial, Universidad de la Costa. MSc. Ingeniería – Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Bolívar. Gestor Tecnológico de la Innovación, Universidad Politécnica de Madrid. Especialista en Competitividad bajo Certificación Clúster Manager, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Docente Adjunto, Departamento de Gestión Industrial, Agroindustria y Operaciones, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. Email: npuello@cuc.edu.co

Reflexión dinámico-sistémica en la planeación de la Movilidad Urbana

Juan S. Angarita-Zapata*, Hugo H. Andrade-Sosa*.

*Grupo SIMON de investigación en modelado y simulación, Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia.

Resumen – En este artículo se presenta una reflexión acerca de los aportes que Dinámica de Sistemas puede realizar al nivel macro de planificación estratégica donde se desarrolla política pública para mejorar la movilidad urbana. En particular nos centraremos en la viabilidad socio-política necesaria para la puesta en marcha de restricciones de uso vehicular (pico-y-placa) y cobros por congestión en el Área Metropolitana de Bucaramanga – AMB (Santander, Colombia), sin profundizar en las herramientas computacionales necesarias para los aspectos operativos de dichas políticas.

Palabras clave – Movilidad urbana, dinámica de sistemas, política pública, modelado dinámico.

I. INTRODUCCIÓN

Las decisiones que se tomen dentro de la planificación de la movilidad urbana deben ser política y técnicamente viables (Xu, 2016). Alcanzar una movilidad sostenible a corto, mediano y largo plazo, requiere una representación estratificada e integrada de dicho proceso decisorio. Tal estratificación, a niveles macro, meso y micro, corresponde a los niveles de agregación en los cuales se diseñan, implementan, ejecutan y reformulan políticas de movilidad urbana (Figura 1).

constituido por dinámicas urbanas complejas donde diferentes *stakeholders* tienen intereses particulares sobre las políticas que se desean ejecutar; tales intereses pueden en ocasiones solaparse o generar disensos en cuanto a los objetivos que las políticas deben alcanzar. En este contexto, las decisiones que aquí se toman corresponden al desarrollo de política pública dentro de instituciones gubernamentales, de la mano de organizaciones sociales, para establecer mediante planificación estratégica los objetivos de las políticas y los medios para su consecución, aclarando que dichos medios a su vez están sujetos a viabilidad técnica.

Una vez los *stakeholders* han alcanzado acuerdos respecto a los objetivos de las políticas, se aplica un enfoque *top-down* para diseñar y planificar las formas cómo dichas políticas van operar y los medios necesarios para ello. Esto significa ir desde el nivel macro de planificación hasta los niveles más bajos de agregación, meso y micro, definiendo, instalando y configurando elementos técnicos y operativos de las políticas; todo ello mientras se siguen los lineamientos estratégicos establecidos por la política pública en el nivel macro de agregación.

Cuando en los tres niveles de estratificación se han especificado e instalado las formas y los medios a través de los cuales operarán las políticas, el siguiente paso es su ejecución. Dicho proceso se realiza con un enfoque *bottom-up*, es decir, desde los niveles más bajos de agregación se inicia la puesta en marcha de las políticas y sus mecanismos a lo largo del tiempo, y a partir de ello, en cada nivel se generan dinámicamente datos producto de la operación diaria de las políticas los cuales son realimentados al nivel de mayor resolución.

Tal realimentación es relevante porque los datos reportados en los niveles operativos representan información que permite evaluar estratégicamente los resultados de la política pública definida inicialmente. A partir de ello se pueden plantear, o no, diferentes ajustes a las políticas de movilidad existentes e incluso diseñar nuevas estrategias para lograr los objetivos establecidos previamente a través de los acuerdos sociales, tal como lo muestra la Figura 2.

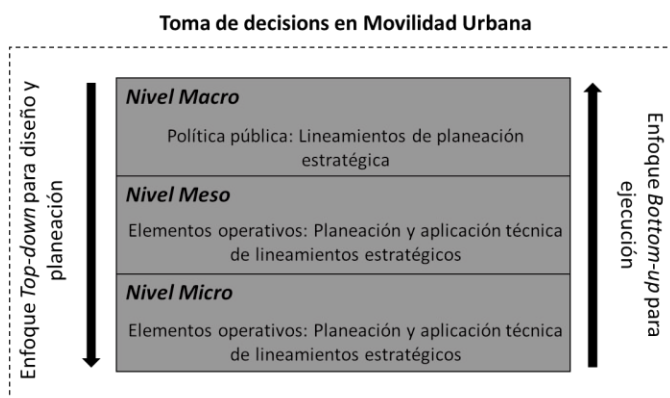


Figura 1. Niveles de agregación en la toma de decisiones de Movilidad Urbana. Fuente: Adaptado de (Wageningen- Kessels et al. 2015).

La viabilidad mencionada se expresa a través del apoyo socio-político necesario, en el nivel macro de la Figura 1, para la puesta en marcha de políticas de movilidad. Dicho apoyo está

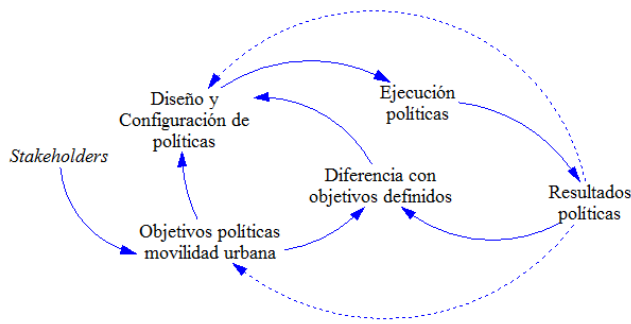


Figura 2. Dinámica de evaluación y reformulación de políticas de movilidad urbana. Fuente: Adaptado de (Senge, 1990)

La Figura 2 muestra un diagrama de influencias que representa el arquetipo de comportamiento en el tiempo de la evaluación y reformulación de políticas de movilidad urbana. En dicha figura, hay una coordinación entre los procesos *top-down* y *bottom-up* que ocurren a través de los niveles de agregación de la Figura 1. Inicialmente, se definen los objetivos que se desean alcanzar en movilidad urbana (objetivos definidos por *stakeholders*); posteriormente, dichos objetivos orientan el diseño y configuración de políticas públicas. Una vez implementados los aspectos técnicos y operativos de las políticas, se procede con su puesta en marcha y se obtienen resultados, expresados a través de datos obtenidos a niveles micro y meso, que son comparados con los objetivos definidos inicialmente en el nivel macro de agregación. Dependiendo de la divergencia entre los resultados alcanzados y los objetivos establecidos, el siguiente paso puede ser reformular las políticas que actualmente están en ejecución o definir nuevos objetivos que orienten la planificación de nuevas políticas públicas.

La representación estratificada de la toma de decisiones en movilidad demanda un cambio de paradigma en la forma como se asumen los problemas de la movilidad urbana. Tal cambio corresponde a una visión integral de las diferentes etapas y niveles de agregación involucrados en la definición, implementación y ejecución de políticas públicas. Esto a su vez, requiere reconocer que se necesitan diferentes herramientas computacionales tanto para modelar y simular las decisiones que se toman en cada nivel de agregación como para monitorear e intervenir en el tiempo las políticas implementadas.

Sin embargo, es importante resaltar que los aportes de dichas herramientas computacionales, a los diferentes niveles de estratificación, dependen del nivel de agregación de sus modelos matemáticos y las escalas temporales de sus simulaciones. Esto significa que el uso de una metodología de modelado y simulación puede ser pertinente en un nivel de estratificación y no en otro.

En este artículo se presenta una reflexión acerca de los aportes que Dinámica de Sistemas puede realizar al nivel macro de planificación estratégica donde se desarrolla política pública para mejorar la movilidad urbana. En particular nos centraremos en la

viabilidad socio-política necesaria para la puesta en marcha de restricciones de uso vehicular (pico-y-placa) y cobros por congestión en el Área Metropolitana de Bucaramanga – AMB (Santander, Colombia), sin profundizar en las herramientas computacionales necesarias para los aspectos operativos de dichas políticas en los niveles meso y micro de la toma de decisiones.

II. DINÁMICA DE SISTEMAS EN TRANSPORTE

Shepherd (2014) realizó una revisión de literatura con artículos académicos, publicados en revistas científicas desde 1994, que han utilizado DS para el modelado y simulación de transporte. Los artículos consultados fueron categorizados por áreas de aplicación que abarcan temas como el uso de vehículos de combustible alternativo, gestión de la cadena de suministro que afecta el transporte, mantenimiento de carreteras y política estratégica a nivel urbano, regional y nacional.

Con el reciente interés alrededor del mundo en la promoción de vehículos de combustible alternativo, la necesidad de modelar y simular los procesos de absorción social de dichas tecnologías ha venido aumentando. DS es un enfoque pertinente para abordar esta temática, tal como lo han mostrado investigaciones recientes donde se ha estudiado la difusión, apropiación y uso de vehículos de combustible alternativo mediante adaptaciones del modelo de difusión de Bass (Shepherd et al. 2012; Kwon, 2012; Harrison y Shepherd, 2014).

Para el caso de gestión de la cadena de suministro que afecta el transporte, esta área es una extensión del uso de modelos de DS aplicados a cadenas de suministro en general y gestión de inventarios (Sterman, 2000). Los trabajos existentes se han enfocado en investigar la planificación de cadenas de suministro, bajo supuestos de crecimiento dinámico, para determinar cuándo aumentar el tamaño de las flotas vehiculares que permita satisfacer las necesidades de suministro futuras (Tako y Robinson, 2012). Por otra parte, en el área de mantenimiento de carreteras, recientes autores han desarrollado modelos de DS para estudiar la dinámica de deterioro y renovación vial (Fallah-Fini et al. 2010; Hang y Li, 2011). Como resultado final se han obtenido diferentes esquemas que permiten optimizar las operaciones de mantenimiento de carreteras.

En el área de política estratégica a nivel urbano, regional y nacional, diferentes trabajos han investigado las interacciones entre los sistemas de transporte y uso de la tierra teniendo en cuenta las diferentes escalas de tiempo en las cuales dichas interacciones ocurren (Pfaffenbichler, 2011; Fiorello et al. 2010; Shepherd, 2013).

Sumado a la revisión de literatura realizada por Shepherd (2014), durante los últimos tres años nuevas áreas de aplicación han emergido. Dichas áreas se han enfocado principalmente a utilizar modelos de DS para abordar diferentes fenómenos asociados a la movilidad urbana, tales como la congestión vial y demanda in-

ducida de transporte (Angarita-Zapata et al. 2016; He y Chen, 2016), fortalecimiento de medios alternativos de transporte (Bajracharya, 2016) y políticas de gestión de la demanda de transporte (Shuwei et al. 2017).

En las áreas de transporte mencionadas la principal contribución de DS ha sido el desarrollo de herramientas computacionales para representar el impacto dinámico, a mediano y largo plazo, de políticas públicas agregadas, a nivel macro, sobre problemáticas de transporte caracterizadas por un componente social que agrega complejidad estructural al fenómeno modelado. En este contexto, DS se centra en evaluar escenarios futuros, en horizontes de tiempo de 20 o 30 años, con diferentes políticas enfocadas a mejorar el desarrollo urbano y el crecimiento de las ciudades bajo orientaciones estratégicas de planificación, que posteriormente permiten formular detalles técnicos del funcionamiento de las políticas, a nivel meso y micro, a través de modelos de redes y/o modelos basados en agentes.

III. ¿POR QUÉ UTILIZAR DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE LA MOVILIDAD URBANA?

Una vez que el entorno social ha alcanzado acuerdos respecto a la implementación de políticas de movilidad, es necesario definir la forma como dichas políticas operarán. Esto significa estudiar flujos vehiculares en la infraestructura vial y los comportamientos de enrutamiento de los automóviles utilizando modelos de redes para especificar los detalles operativos de las políticas. Sin embargo, los retos que el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) afronta actualmente, con respecto a la puesta en marcha de esquemas pico-y-placa y cobros por congestión, están relacionados con su aceptabilidad social, en lugar de aspectos técnicos de las políticas.

Antes de implementar restricciones y tarifas sobre el uso del vehículo privado, el reto social mencionado debe ser abordado por marcos institucionales que diseñen y promuevan lineamientos estratégicos enfocados a mejorar la aceptabilidad de la comunidad frente a la puesta en marcha de dichas políticas. Una vez establecidas tales directrices, el siguiente paso será la formulación de detalles operativos de las restricciones y las tarifas, tales como el diseño óptimo de tarificación y el estudio de las respuestas potenciales de los viajeros a las restricciones de pico-y-placa en términos de elección de rutas viales, entre otros (May et al, 2010).

En este contexto, la principal contribución de Dinámica de Sistemas (DS) yace en su capacidad para representar y evaluar el impacto dinámico agregado, a mediano y largo plazo, de los lineamientos estratégicos sobre la complejidad social de la comunidad en torno a la implementación de las políticas mencionadas. Basándose en los resultados alcanzados a través de modelos estratégicos de DS, será posible la formulación de detalles técnicos pertenecientes

entes a la operación, a niveles meso y micro, de las políticas de pico-y-placa y cobros por congestión; lo cual puede ser realizado a través de modelos de redes complejas (Lotero et al. 2016) y autómatas celulares (Knospe et al. 2004), entre otras metodologías de modelado y simulación adecuadas para dichos niveles de estratificación (Wageningen-Kessels et al. 2015).

IV. ¿CÓMO UTILIZAR DINÁMICA DE SISTEMAS PARA ABORDAR LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE POLÍTICAS DE MOVILIDAD URBANA?

La Figura 3 muestra el rol de las herramientas de modelado y simulación ofrecidas por Dinámica de Sistemas (DS) para la planeación estratégica de políticas de movilidad urbana. Los objetivos para implementar dichas políticas pueden variar a lo largo del contexto urbano objeto de estudio, y su viabilidad depende tanto de las personas que están interesadas en su implementación como de las personas que van a ser influenciadas y/o impactadas por las políticas. De esta forma, la aceptabilidad social cambia entre los diferentes *stakeholders* de cada contexto urbano.

Los diagramas de influencias (DIs) tienen el rol de representar los modelos mentales de los *stakeholders* (Senge, 1990; Hager et al. 2015; Checkland, 1981) acerca de la implementación de las políticas de movilidad. En este contexto, los DIs son utilizados para representar la diversidad de preocupaciones y disensos relacionados con la aceptabilidad de las políticas que se desean poner en marcha, tal como lo muestra la Figura 3. Construir dichos diagramas es un proceso iterativo que comienza cuando

los investigadores discuten con diferentes *stakeholders* sus preocupaciones para posteriormente representarlas mediante estructuras de realimentación cualitativas; una vez esto se ha realizado, el proceso retorna a los *stakeholders* para discutir con ellos los DIs propuestos y así, formular varias versiones de dichos diagramas que permitan obtener representaciones lo más integrales posibles, las cuales provienen de los grupos sociales interesados e influenciados por la implementación de las políticas.



Figura 3. Rol de Dinámica de Sistemas para la planeación estratégica de políticas de movilidad urbana. Fuente: autores.

Basándose en los resultados alcanzados con los DIs, es posible identificar los obstáculos sociales que dificultan la implementación de las políticas de movilidad. Tales barreras, junto con los objetivos *per se* de las políticas, son las prioridades sobre las cuales diferentes estrategias serán diseñadas y probadas, utilizando diagramas de flujos y niveles (DFNs), para evaluar la aceptabilidad de las políticas por parte de la comunidad en un horizonte de tiempo a largo plazo. Los DFNs son modelos agregados que pueden incluir variables asociadas a tres etapas del modelo tradicional *Four-Step* (*trip generation, trip distribution, modal split*). La etapa *assignment* es pertinente no modelarla con DFNs, ya que dentro de las fortalezas que Dinámica de Sistemas no está el estudio de rutas y sus flujos vehiculares de forma de forma detallada o discretizada; en lugar de ello se deben asumir relaciones agregadas de velocidad-flujo para representar las condiciones del tráfico en la infraestructura vial disponible.

Habiendo formulado DIs y DFNs con sus respectivas simulaciones, estos son usados como medio para crear acuerdos sociales acerca de la implementación de las políticas de movilidad entre los diferentes *stakeholders* involucrados. En este contexto, la contribución de Dinámica de Sistemas yace en asistir marcos institucionales para formular y evaluar decisiones políticas concretas centradas en la aceptación de diferentes estrategias enfocadas a mejorar la movilidad en contextos urbanos, tal como se observa en el recuadro externo punteado de la Figura 3.

V. CASO DE ESTUDIO: ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB)

A. Estructura geográfica y demanda de transporte del AMB

El Área Metropolitana de Bucaramanga es una entidad administrativa constituida por cuatro municipios del departamento de Santander: Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta (ver Figura 4). El AMB fue creado para la programación y coordinación de su desarrollo y la prestación de sus servicios públicos. Acorde a cifras del DANE, la población del AMB para el año 2016 fue de 1.132.339 personas; por otra parte, el parque automotor durante el mismo año alcanzó los 632.104 vehículos de los cuales 146.591 (24 % del parque automotor total) son automóviles y 368.206 (58% del parque automotor total) son motocicletas (Dirección de Transito de Bucaramanga, 2017).

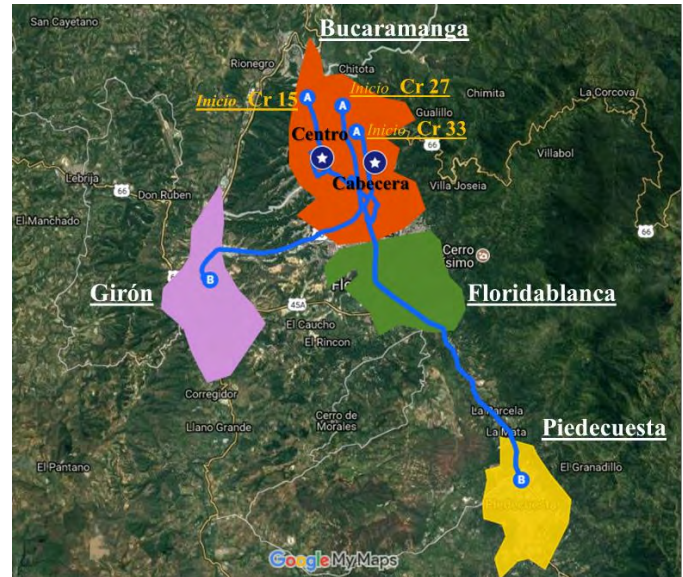


Figura 4. Geografía Área Metropolitana de Bucaramanga.

Fuente: autores

El AMB y sus poblaciones presentan signos de aglomeración de actividades concentradas en dos núcleos: el sector llamado cabecera y la zona céntrica observadas en el mapa de la Figura 4 dentro de Bucaramanga. Esto genera que Bucaramanga tenga una gran oferta de bienes y servicios hacia los demás municipios que integran el AMB y además, fomenta una tendencia a residir en los alrededores urbanos de Bucaramanga que incrementa la longitud de los viajes. De esta forma, la economía de este tipo de estructuras geográficas es sensible a los costos de transporte dada la necesidad de desplazamiento (Dirección de Transito de Bucaramanga, 2017).

B. Estado de la movilidad urbana y restricciones al uso del vehículo privado en el AMB

Con base en información de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga, la demanda de viajes y flujos vehiculares en las principales vías de acceso a Bucaramanga (Carrera 15, Carrera 33 y Carrera 27 en la Figura 4), que la comunican con Girón, Floridablanca y Piedecuesta, presentan relaciones volumen-capacidad que superan los límites de operación de las vías durante largas franjas horarias diarias comprendidas entre las 8:00 am y las 8:00 pm (Dirección de Tránsito de Bucaramanga, 2017).

Existe un déficit de infraestructura vial que impide la comunicación fluida entre los municipios del AMB, y por lo tanto, se ha generado un desequilibrio entre la capacidad vial instalada y la creciente demanda de transporte (Dirección de Transito de Bucaramanga, 2017). Para contrarrestar tal situación, en la actualidad se han diseñado e implementado medidas de restricción sobre el uso del vehículo particular con el fin de mejorar la movilidad vial. Dichas restricciones tienen como propósito incentivar el uso de

corredores peatonales, fomentar el uso de los modos de transporte no motorizados y la utilización del transporte masivo en pro de disminuir los costos sociales, económicos y ambientales generados por la congestión vehicular; sin embargo, a la fecha de hoy dichas restricciones han sido ampliamente rechazadas por la comunidad del AMB impidiendo su funcionamiento (Vanguardia, 2017).

Por otra parte, a pesar que las autoridades de tránsito en el AMB han procurado diseñar e implementar restricciones para compensar el crecimiento en el uso del automóvil, aún no sea implementado ningún cobro por congestión. Esta política con el incremento actual en el uso del vehículo privado puede ser una estrategia pertinente para lidiar con los impactos económicos, sociales y ambientales causados por el uso intensivo del automóvil. Sin embargo, el potencial de esta estrategia para gestionar el uso del automóvil ha sido poco estudiado tanto a nivel local y nacional como latinoamericano (Mahendra, 2008). A pesar de sus beneficios potenciales, existen obstáculos sociales para aprobar su implementación que aún permanecen inexplorados. Algunos críticos argumentan que esta clase de políticas generan problemas de equidad relacionados con el libre desplazamiento en la infraestructura vial de una ciudad (Mahendra, 2008; Rivasplata, 2013).

VI. MODELO PARA APOYAR LA PLANIFICACIÓN DE LA MOVILIDAD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB)

A. Propósito y alcance del modelo

El modelo aquí presentado tiene como propósito evaluar la aceptabilidad social y el impacto dinámico de las políticas de pico-y-placa y cobros por congestión sobre la movilidad a mediano y largo plazo en las principales vías que conectan a Bucaramanga con los municipios de Girón, Floridablanca y Piedecuesta: Carrera 15, Carrera 33 y Carrera 27.

El modelo construido con Dinámica de Sistemas (Sterman, 2000) está compuesto por cuatro sectores donde tres de ellos corresponden a cada uno de los corredores viales anteriormente mencionados. Para cada corredor vial se tienen en cuenta variables que representan la generación de viajes (motivos por los cuales la población viaja), división modal (a través de cuáles medios de transporte se desplaza la población) y congestión vehicular.

El cuarto sector representa la aceptabilidad social a través del tiempo frente al diseño de las políticas de pico-y-placa y cobros por congestión. De esta forma, se representan intereses de *stakeholders* para buscar un consenso colectivo frente a la puesta en marcha de dichas políticas y así, lograr establecer lineamientos de planificación de la movilidad para el AMB. En este sector se utilizan variables de tipo cualitativo cuyo propósito únicamente es repre-

sentar la complejidad social que subyace a la toma de decisiones.

Es pertinente resaltar que los tres sectores de los corredores viales representan de forma aislada dichas vías; es decir, no se tienen en cuenta dinámicas geográficas ni espaciales. Además, los flujos vehiculares se representan de forma agregada y homogénea sin distinguir entre tipos de vehículos a un nivel microscópico.

B. Diagrama de influencias

La Figura 5 muestra el arquetipo de comportamiento básico para los corredores Carrera 15, Carrera 27 y Carrera 33, bajo el funcionamiento de la política pico-y-placa como escenario actual del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). En el diagrama de influencias se aprecia una demanda de transporte que se moviliza en tres medios de transporte: automóvil, sistema de buses de transporte rápido (Metrolínea) y motocicleta. Esta demanda de transporte corresponde a la población que se moviliza desde los municipios de Floridablanca, Piedecuesta y Girón hacia Bucaramanga con el propósito de acceder a bienes y servicios ofrecidos en la capital santandereana.

La confluencia de los tres medios de transporte mencionados genera un uso de los corredores viales que supera su capacidad de operación, generando congestión vial lo cual produce diferentes externalidades negativas relacionadas a aspectos económicos, sociales y ambientales. En presencia de una movilidad saturada, la Dirección de Tránsito de Bucaramanga ha optado por dos medidas. En primer lugar, realizar mejoras físicas y ampliaciones de capacidad a los tres corredores viales que contribuyan a mejorar los flujos vehiculares; sin embargo, esto genera a corto plazo demanda inducida de vehículos privados que incentiva a los automóviles (Demanda inducida #1), ya circulando en dichas vías, a realizar un uso más intensivo de ellas.

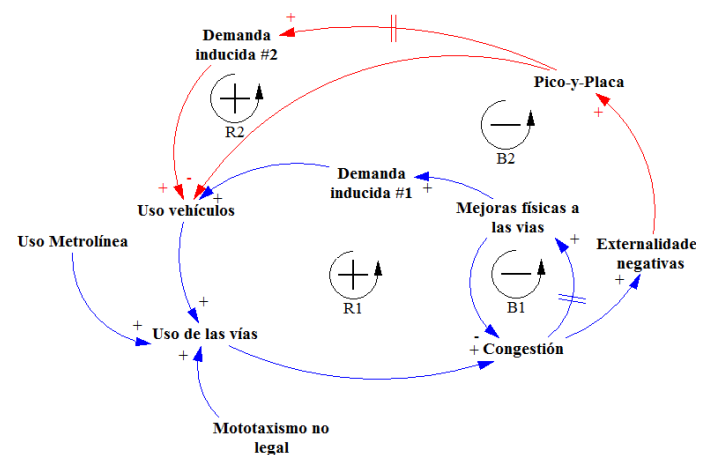


Figura 5. Arquetipo de comportamiento básico para los corredores Carrera 15, Carrera 27 y Carrera 33, bajo el funcionamiento de la política pico-y-placa. Fuente: autores

Por otra parte, se ha implementado la restricción vehicular de pico-y-placa para disminuir el número de vehículos que circulan en los corredores viales y lograr que dichos conductores hagan uso del sistema de transporte público. A corto plazo hay una disminución en el total de automóviles que se movilizan en las vías; sin embargo, sin mejoras en la calidad de Metrolínea esta restricción vehicular induce una segunda demanda de transporte a mediano y largo plazo en la cual la población compra nuevos carros que sumados a los que ya se encuentran circulando previamente en las vías, aumentan el flujo vehicular en ellas (Demanda inducida #2) y generan nueva congestión vehicular.

En el contexto descrito, la restricción de pico-y-placa contribuye a mejorar la movilidad en el corto plazo, pero genera efectos contra intuitivos a largo plazo sobre el estado de la movilidad en las vías. Por tal motivo, en este documento se plantea la incorporación de la política de cobros por congestión que opere paralelamente al pico-y-placa. Dicha medida consiste en ofrecer a los conductores la oportunidad de pagar un monto de dinero para quedar eximidos de la restricción de pico-y-placa. Esto permite disminuir el uso de este medio de transporte, evitando que nuevos vehículos sean comprados (Demanda inducida #2), y con los recursos económicos recolectados es posible mejorar la calidad del sistema de transporte público para disminuir el número de personas que se desplazan a través de automóvil como se observa en la Figura 6.

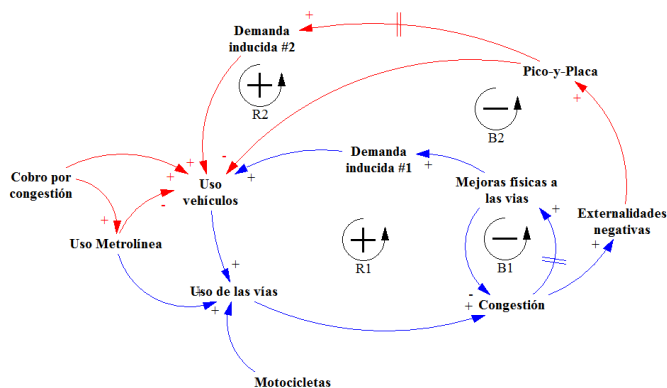


Figura 6. Arquetipo de comportamiento básico para los corredores Carrera 15, Carrera 27 y Carrera 33, bajo el funcionamiento de la política pico-y-placa y cobros por congestión. Fuente: autores.

A pesar que la coordinación entre las políticas de restricción vehicular y el cobro por congestión puede mejorar la movilidad en el AMB, su implementación afronta retos de aceptabilidad social tal como ha pasado a la fecha de hoy con el pico-y-placa. Dichos retos han evitado un pleno funcionamiento de las políticas e inclusive ha retrasado una mejor formulación de las mismas.

Habiendo propuesto una implementación inicial de las dos políticas mencionadas a través de los diagramas de influencias presentados, el siguiente paso radica en incluir *stakeholders* afectados por

las externalidades de la congestión vial. Dichas externalidades generan una demanda de políticas por parte de la comunidad hacia a los tomadores de decisiones para implementar estrategias que permitan descongestionar la movilidad: pico-y-placa y cobros por congestión en este caso. Sin embargo, estas estrategias pueden repercutir de forma positiva o negativa sobre diferentes actores del contexto urbano en el AMB; a su vez, tal influencia sobre diferentes grupos sociales puede generar una reformulación de los objetivos y/o los medios de las políticas tal como se observa en la Figura

7. En este contexto, el diagrama de influencia de las Figura 3 es un mecanismo mediador para alcanzar acuerdos sociales bajo los cuales se oriente el diseño y la implementación de las políticas mencionadas.

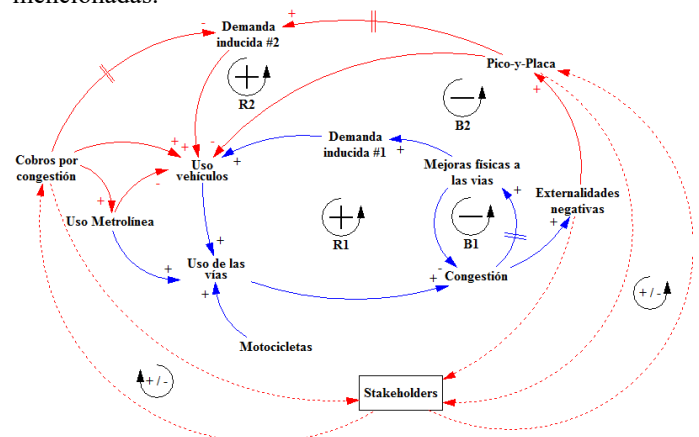


Figura 7. Aceptabilidad social de la implementación de políticas pico-y-placa y cobros por congestión en los corredores Carrera 15, Carrera 27 y Carrera 33. Fuente: autores.

C. Escenarios y modos de comportamiento esperados

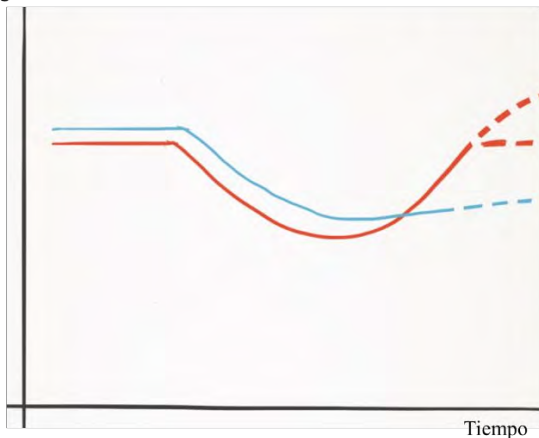
A partir de los diagramas de influencias de las Figuras 5 y 6 es posible plantear un modo de referencia como comportamiento que emerge de las interacciones entre los diferentes ciclos de realimentación. Para ello, se definen dos escenarios posibles: un escenario usual donde en presencia de congestión vial se implementa la medida de pico-y-placa junto con adecuaciones físicas y ampliaciones de la capacidad vial (escenario rojo); por otra parte, se propone un escenario donde a dichas políticas se suma la estrategia de cobros por congestión (escenario azul). Bajo estos dos escenarios el modo de comportamiento propuesto se observa en la Figura 8.

Para ambos escenarios se parte de una movilidad congestionada. En el caso del escenario #1 frente a flujos vehiculares saturados se implementa la política de pico-y-placa y mejoras físicas de la infraestructura vial. Una vez se ha realizado esto, a corto plazo hay una disminución de la congestión; posteriormente el comportamiento de la curva tiende a estabilizarse debido al efecto de la demanda inducida #1, mientras que a mediano plazo la congestión

vuelve a incrementarse hasta un estado que puede ser peor o igual a la congestión inicial; esto a causa de la demanda inducida #2 generada por la restricción de pico-y-placa donde más vehículos se suman a los que previamente ya estaban circulando.

En el escenario #2 igualmente hay una disminución de la congestión vial una vez las políticas de pico-y-placa y mejoras viales son implementadas. Posteriormente, para controlar el efecto de la demanda inducida #2 se realiza el cobro por congestión para darles a los conductores la posibilidad de ser eximidos del pico-y-placa mediante un pago de dinero y así evitar que nuevos automóviles sean comprados. En este escenario a mediano y largo plazo hay un aumento de la congestión, sin embargo, tal incremento no crece de forma exponencial como en el escenario #1. Esto se debe a que el dinero de la política de cobro por congestión es invertido en mejorar la calidad del sistema de transporte público, con lo cual se logra incentivar la migración de conductores de vehículo privado hacia Metrolínea.

Congestión vial



— Escenario #1: Pico-y-Placa + Mejoras viales
— Escenario #2: Pico-y-Placa + Mejoras viales + Cobro por congestión

Figura 8. Modos de comportamientos para los diagramas de influencias de las Figuras 5 y 6. Fuente: autores

VII. REFERENCIAS

- Angarita-Zapata, J. S., Parra-Valencia, J. A., Andrade-Sosa, H. H. (2016). Understanding the Structural Complexity of Induced Travel Demand in Decision-Making: A System Dynamics Approach. *Organizacija*, Volume 49, Number 3. doi: 10.1515/orga-2016-0013.
- Bajracharya, A. (2016). Public Transportation and Private Car: A System Dynamics Approach in Understanding the Mode Choice. *International Journal of System Dynamics Applications*, 5(2). doi: 10.4018/IJD-SA.2016040101.
- Checkland, P. B. (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Dirección de Tránsito de Bucaramanga. (2017). Estructuración de medidas para el mejoramiento de la movilidad en Bucaramanga. Alcaldía de Bucaramanga, Enero de 2017.
- Fallah-Fini, S., H. Rahmandad, K. Triantis, and J. M. de la Garza. (2010). Optimizing Highway Maintenance Operations: Dynamic Considerations. *System Dynamics Review* 26 (3): 216–238.
- Fiorello, D., Fermi, F., Bielanska, D. (2010). The AS-TRA Model for Strategic Assessment of Transport Policies. *System Dynamics Review* 26 (3): 283–290.
- Hager, G. M., Kopainsky, B., Nyanga, P. H. (2015). Learning as conceptual change during community based group interventions. A case study with smallholder farmers in Zambia. Paper presented at the 33rd International Conference of the System Dynamics Society, July 19-23, 2015, Cambridge, MA.
- Han S. S. (2010). Managing motorization in sustainable transport planning: the Singapore experience. *Journal of Transport Geography* 18, 314–321.
- Hang, W., Li, X. (2011). Application of System Dynamics for Evaluating Truck Weight Regulations. *Transport Policy* 17 (4): 240–250.
- Harrison, G., Shepherd, S. P. (2014). An Interdisciplinary Study to Explore Impacts From Policies for the Introduction of Low Carbon Vehicles. *Transportation Planning and Technology* 37 (1): 98–117.
- He K., Chen Y. (2016). Urban Traffic Congestion Based on System Dynamics: Taking Wuhan City as an Example. In: Li W. et al. (eds) *Internet and Distributed Computing Systems. IDCS 2016. Lecture Notes in Computer Science*, vol 9864. Springer, Cham.
- Knospe W, Santen L, Schadschneider A, Schreckenberg M (2004) Empirical test for cellular automaton models of traffic flow. *Phys Rev E Stat Nonlinear Soft Matter Phys* 70(1 Pt 2):016115.
- Kutzbach M. J. (2009). Motorization in developing countries: Causes, consequences, and effectiveness of policy options. *Journal of Urban Economics* 65, 154–166.

- Kwon, T. (2012). Strategic Niche Management of Alternative Fuel Vehicles: A System Dynamics Model of the Policy Effect. *Technological Forecasting & Social Change* 79 (9): 1672–1680.
- Lotero, L., Hurtado, R. G., Floría, L. M., Gómez-Gardeñes, J. (2016). Rich do not rise early: spatio-temporal patterns in the mobility networks of different socio-economic classes. *R. Soc. open sci.* 3: 150654.
- Mahendra A. (2008). Vehicle Restrictions in Four Latin American Cities: Is Congestion Pricing Possible? *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 28:1, 105-133.
- May A. D., Koh A., Blackledge D., Fioretto M. (2010). Overcoming the barriers to implementing urban road user charging schemes. *Eur. Transp. Res. Rev.* 2:53–68.
- Pfaffenbichler, P. (2011). Modelling with Systems Dynamics as a Method to Bridge the Gap between Politics, Planning and Science? Lessons Learnt from the Development of the Land Use and Transport Model MARS. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal* 31 (2): 267–289.
- Rivasplata C. H. (2013). Congestion pricing for Latin America: Prospects and constraints. *Research in Transportation Economics* 40, 56-65.
- Roque D., Masoumi H. E. (2015). An Analysis of Car Ownership in Latin American Cities: a Perspective for Future Research. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*.
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday/Currency.
- Shepherd, S. P. (2013). Toll Competition and Dynamic Toll Setting Strategies. *International Journal of Sustainable Transportation* 7 (3): 186–203.
- Shepherd, S. P. (2014). A review of system dynamics models applied in transportation, *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, Volume 2, Issue 2.
- Shepherd, S. P., Bonsall, P.W., Harrison, G. (2012). Factors Affecting Future Demand for Electric Vehicles: A Model Based Study. *Transport Policy* 20 (March):62–74. doi:10.1016/j.tranpol.2011.12.006.
- Shuwei, J., Yang, K., Zhao, J., Yan, G. (2017). The Traffic Congestion Charging Fee Management Model Based on the System Dynamics Approach. *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2017 (2017), doi: /doi.org/10.1155/2017/3024898.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. USA: Irwin McGraw-Hill.
- Tako, A., Robinson, S. (2012). The Application of Discrete Event Simulation and System Dynamics in the Logistics and Supply Chain Context. *Decision Support Systems* 52 (4): 802–815.
- Vanguardia. (2017). Se cae Pico y Placa en toda Bucaramanga: Director de Tránsito. Documento en línea y disponible en: www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/393546-se-cae-pico-y-placa-en-toda-bucaramanga-director-de-transito.
- Wageningen-Kessels, F., Lint, H., Vuik, K., Hoogendoorn, S. (2015). Genealogy of traffic flow models. *EURO Journal on Transportation and Logistics* Volume 4, Issue 4, pp 445–473.
- Xu, Y., González, M. C. (2017). Collective benefits in traffic during mega events via the use of information technologies. *J R Soc Interface* 14(129).

Modelo para considerar el papel de la gestión de tecnologías de información en iniciativas de Ciudades Inteligentes.

Gina Paola Maestre G

Estudiante de Doctorado Universidad del Norte

Docente Investigadora Universidad Cooperativa de Colombia

gina.maestre@campusucc.edu.co; ggongora@uninorte.edu.co

Hugo Andrade Sosa

Profesor Universidad Industrial de Santander

handrade@uis.edu.co

Resumen - Este trabajo presenta un modelo usando el lenguaje de la dinámica de sistemas para abordar el papel de las tecnologías de información en el contexto de ciudades inteligentes, en particular su gestión con el fin de generar condiciones favorables en las ciudades para promover este tipo de proyectos. El modelo se centra principalmente en cinco variables: estrategia, infraestructura, innovación, datos y servicios de TI; de las cuales se describe la relación y ciclos de realimentación resultantes, y a partir de dos escenarios se presenta el comportamiento de algunas de las variables del modelo. Se observa, a partir de los resultados de simulación, que la estrategia, incide significativamente en el comportamiento de las demás variables, ya que dependiendo del escenario las otras variables tienen comportamientos favorables o no.

Palabras Clave—Ciudad Inteligente, Tecnología de Información, Gestión Pública, Dinámica de Sistemas

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de las ciudades inteligentes es crear un entorno para el intercambio de información, la colaboración, la interoperabilidad y experiencias para sus habitantes asumiendo la innovación tecnológica como un mecanismo para mejorar los servicios y crear condiciones donde las herramientas pueden ser mejor utilizadas; donde el uso de las tecnologías son indispensables para mejorar la competitividad y asegurar un futuro más sostenible por la relación entre personas, empresas, tecnologías, infraestructuras y gobierno[1]

En este sentido, las Tecnologías de Información (TI) son un elemento fundamental para ofrecer infraestructura, plataformas y soluciones a las ciudades, sin embargo no se

puede asegurar una alta inteligencia y capacidad de solución a los problemas a menos que estén integradas a una arquitectura amplia de coordinación entre espacios físicos, institucionales y digitales.

(Mishra, 2013) afirma que las aplicaciones y tecnologías de gobierno deben ser capaces de responder a las preguntas fundamentales de cómo funcionan las ciudades, la forma en que se organizan y cómo se puede hacer para trabajar de manera más inteligentes para los ciudadanos y las empresas; una ciudad debe ser capaz de establecer relaciones entre la tecnología, la información y los objetivos del gobierno hacia iniciativas sostenibles de ciudades y gobiernos inteligentes. Según (Neirotti et al., 2014) las TI son una tecnología de uso general que es complementaria al capital humano y organizacional; cuyo uso está conformado por las decisiones políticas y por el ecosistema urbano de los ciudadanos, proveedores de tecnología y las autoridades locales, en función de las necesidades y hábitos de la ciudad.

En este trabajo se presenta un modelo de dinámica de sistemas, en el cual se representan las principales variables asociados a la gestión de tecnologías aplicado al contexto de ciudades inteligentes (estrategia, infraestructura, datos, innovación y servicios de TI) con el fin de ayudar a las administraciones públicas a comprender el rol de estas tecnologías en la transición de ciudades convencionales a ciudades inteligentes, donde el modelo es un instrumento comprender y analizar la capacidad de gestión de tecnologías de información, como un elemento habilitador de ciudades inteligentes y a través del cual se pueda apoyar la toma de decisiones sobre los caminos de mejoramiento necesarios.

II. MARCO TEORICO

El concepto de territorio o ciudad inteligente ha ido tomando importancia y gran relevancia a la hora de trazar e implementar políticas públicas a nivel mundial dado el desarrollo y crecimiento

poblacional de los centros urbanos. Estas ideas han ido tomando fuerza en la última década, por ello, están en evolución, siendo un concepto amplio y dinámico que en general está conformado por una compleja combinación e interacción de factores sociales, políticos, tecnológicos y económicos[2]. Este concepto surge principalmente de la necesidad de racionalizar y optimizar mediante el uso de tecnologías los recursos y su disponibilidad, principalmente los recursos comunes entendidos como facilidades compartidas agotables susceptibles de sufrir dilemas sociales (infraestructura, agua, energía, entre otros) que presentan, como consecuencia de lo anterior, problemas que amenazan su disponibilidad, tales como: congestión, contaminación y sobreexplotación[3].

El término “ciudad inteligente” –“*Smart City*”- surge como una construcción que tiene múltiples definiciones pero de manera general podemos asumir que una ciudad inteligente es un territorio caracterizado por el uso intensivo de las tecnologías, principalmente de información y comunicación, para promover la colaboración, la innovación y la eficiencia para lograr el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos y la sostenibilidad de las ciudades a través del mejoramiento de los servicios hacia los ciudadanos.

Es de destacar la presencia de las TI en los conceptos presentados por lo que se convierten en un elemento fundamental y angular en el concepto de ciudad inteligente. Se presenta en la Tabla algunos autores que exponen de manera particular cual es rol de las TI dentro de las ciudades inteligentes.

Tabla 1. Ciudad inteligente desde la perspectiva de las TI

Autor	Supuestos sobre TIC en SC
[4]	Una comunidad conectada que combina infraestructura de comunicaciones de banda ancha; una infraestructura informática flexible, orientada a servicios basada en estándares abiertos de la industria; y, servicios innovadores para satisfacer las necesidades de los gobiernos y
[5]	La tecnología es, obviamente, una condición necesaria para una ciudad inteligente, pero la comprensión del concepto de la ciudadanía es sobre el desarrollo de la sociedad urbana para la mejor calidad de vida.
[6]	El papel de las TIC en cuatro ámbitos esenciales para una gobernanza eficaz de la ciudad: la competitividad, la infraestructura física, el medio ambiente natural y la administración pública debe educar e informar a los interesados acerca de las tecnologías eficaces.

Autor	Supuestos sobre TIC en SC
[4]	Una comunidad conectada que combina infraestructura de comunicaciones de banda ancha; una infraestructura informática flexible, orientada a servicios basada en estándares abiertos de la industria; y, servicios innovadores para satisfacer las necesidades de los gobiernos y
[5]	La tecnología es, obviamente, una condición necesaria para una ciudad inteligente, pero la comprensión del concepto de la ciudadanía es sobre el desarrollo de la sociedad urbana para la mejor calidad de vida.
[6]	El papel de las TIC en cuatro ámbitos esenciales para una gobernanza eficaz de la ciudad: la competitividad, la infraestructura física, el medio ambiente natural y la administración pública debe educar e informar a los interesados acerca de las tecnologías eficaces.

Fuente: Elaboración Propia

Si bien las TI son un elemento fundamental también se puede afirmar que las ciudades se enfrentan a retos difíciles como mantener y mejorar las infraestructuras de las TIC y las políticas de innovación (Comnenos, Schaffers, & Pallot, 2011), lo que permite trazar unas líneas de trabajo e investigación hacia la gestión de la TI en contextos de las ciudades inteligentes, desarrollo de aplicaciones hardware y software para el mejoramiento de servicios al ciudadano y la medición de impacto de estas iniciativas.

La evolución de los gobiernos hacia gobiernos electrónicos y estos hacia gobiernos inteligentes se ha convertido en una estrategia fundamental para promover la eficiencia en la prestación de servicios a los ciudadanos, la mejora en los procesos de las oficinas públicas y la disponibilidad de la información. Esta transición ha generado la necesidad de organizar y gestionar de una mejor manera las infraestructuras de TI que soportan los procesos y actividades del gobierno con el fin de superar retos asociados a la independencia de las organizaciones públicas hacia la construcción de gobiernos conectados, integrados e inteligentes[9].

III. METODOLOGÍA

un modelo en términos dinámico-sistémicos se puede expresar a través del lenguaje de la prosa, el lenguaje de los diagramas de influencias, el lenguaje de los diagramas de flujo y niveles, el lenguaje matemático y el lenguaje de los resultados simulados o comportamiento (Figura 1). Cada uno de estos satisface de manera particular los requerimientos de un modelo dinámico-sistémico,

es decir, la posibilidad de expresar hipótesis causales o de influencias de la dinámica y la posibilidad de realizar con ellas una interacción simulada[10]

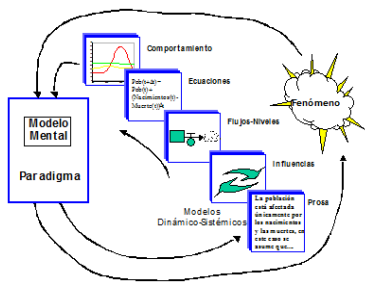


Figura 1. Modelado con DS

En el lenguaje de prosa, que es el utilizado cotidianamente, es posible hablar en términos de influencias, cómo ellas condicionan el comportamiento; el lenguaje de prosa permite comunicar fácilmente los supuestos de los modelos dinámico-sistémicos expresados en los otros lenguajes.

Los lenguajes de diagramas de influencias y diagramas de flujos y niveles, como lo indican sus denominaciones, tienen un carácter gráfico. En cada uno de ellos se puede dibujar y apreciar visualmente la estructura de influencias con sus ciclos de realimentación. Para cada uno de estos diagramas existe una lógica que permite inferir comportamientos posibles del sistema a partir de las estructuras que allí aparecen, de modo que se puede realizar simulaciones “mentales”. Los diagramas de influencias y los diagramas de flujos y niveles son lenguajes específicos de la Dinámica de Sistemas. En el diagrama causal claramente se expresan las relaciones de influencia y los ciclos de realimentación, que explican la dinámica del fenómeno. La visión que ofrece un modelo expresado como diagrama de influencias tiene cualidades didácticas porque permite comunicar y discutir con sencillez las hipótesis de influencias o causales con diferentes tipos de públicos, incluso con aquellos que no conocen la Dinámica de Sistemas.

Mediante el lenguaje de ecuaciones puede representarse la estructura causal como un sistema de ecuaciones diferenciales. Este sistema puede resolverse mediante su simulación por computador, transformándolo en un sistema de ecuaciones en diferencias. Con la representación matemática del sistema y haciendo uso de herramientas informáticas especializadas, se obtiene un modelo que puede simular el fenómeno con la ayuda del computador, con amplias facilidades para la interacción en un lenguaje visual de definición de escenarios de simulación y presentación de resultados numéricos y gráficos.

IV. MODELO EN DINÁMICA DE SISTEMAS

A. Modelo en Prosa

Para que una ciudad o un territorio puedan alcanzar la condición de inteligente no dependerá única y exclusivamente de superar el componente tecnológico o de infraestructura, sino que el éxito de estas iniciativas por lo general es el resultado de una combinación compleja de factores: sociales, políticos, económicos, humanos y organizacionales. Teniendo en cuenta lo anterior, las variables principales del modelo surgen la revisión de la literatura y los frameworks como, TOGAF e COBIT, referentes en gestión y gobierno de TI como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelos de referencia para la selección de variables

Tipo de Modelo de Referencia	Nombre del Modelo
Buenas Prácticas de Gestión de TI	ITIL- Information Technology Infrastructure Library ITIL
	TOGAF: The Open Group Architecture Framework
	ZACHMAN Framework-
Arquitecturas Empresariales de Gobierno (AEG)	AEG- Australian Government Architecture Reference Models
	AEG_ Reino Unido UK Government Reference Architecture
	AEG - USA The Common Approach to Federal Enterprise Architecture-
	AEG-Colombia The Colombian Government Enterprise Architecture Framework
	AEG. Nueva Zelanda
Modelos de Madurez Ciudades Inteligentes (MM)	MM-Escocia: Smart Cities Maturity Model and Self-assessment tool ---
	MM- IDC: Smart City Maturity Model- Assessment and Action on the Path to Maturity
	MM- BSI Smart city framework – Guide customer service to establishing strategies for smart cities and communities
	MM DELOITTE Capability Framework and Maturity Model
	MM-India Smart Cities Maturity Model (SCMM)

El modelo propuesto se centra en cinco variables: estrategia, servicios, infraestructura e innovación, que se describen en la Tabla 3 y la Figura 2.

Tabla 3. Descripción principales variables

Variables	Descripción
ESTRATEGIA	Contempla la información referida a cual es objetivo de las TI y los servicios información que brinda el estado y su articulación con los marcos legales o regulatorios, la identificación de los actores de los procesos y sus respectivas necesidades y/o expectativas.
INNOVACIÓN	Entendida como la aplicación de métodos, políticas, productos y servicios que aportan de una manera novedosa a los procesos del estado, facilitando la relación de los ciudadanos con las entidades del sector público.
SERVICIOS DE TI	Son los procesos y servicios disponibles al ciudadano que soportan el desarrollo de trámites, solicitudes, consultas y acceso a los datos, información y conocimiento de interés público
DATOS	Se refiere al conjunto de procesos para la adquisición, procesamiento, almacenamiento, gestión y análisis de grandes volúmenes de datos de todo tipo: estructurados y no estructurados que permitirán tomar decisiones estratégicas para la ciudad.
INFRAESTRUCTURA DE TI	Se refiere a la infraestructura hardware y software y sus instalaciones que permiten el almacenamiento, procesamiento y aseguramiento de las aplicaciones y los datos.

diferentes tipos de públicos. Para expresar las relaciones se desarrolla el modelo de influencias para analizar la dinámica cualitativa del modelo propuesto, con el fin de explicar la relación y dependencia de las variables entre si. En el diagrama de influencias (Figura 3) se sintetizan las variables principales, relaciones y ciclos de realimentación, que explican la dinámica del fenómeno en término de tres ciclos de realimentación principalmente.

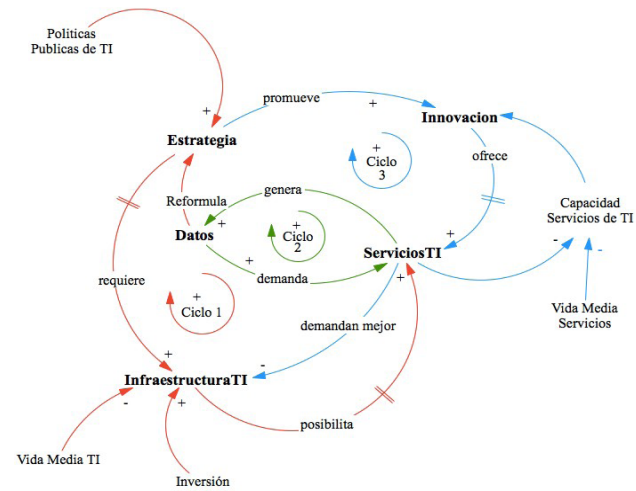


Figura 3. Diagrama de Influencias

Ciclo 1: Estrategia-Infraestructura-Servicios y Datos

La *estrategia* de Gobierno Electrónico, mediante la formulación de políticas publicas de TI brinda las condiciones necesarias para el desarrollo de ciudades inteligentes. Como elemento fundamental se encuentra la tecnología la cual estará disponible en la medida que las acciones institucionales, económicas y de espacios físicos de una ciudad habilite la *infraestructura* requerida; la *capacidad* de la *infraestructura* puede afectarse por la obsolescencia de la misma (*vida media* de TI) o por la escases de inversión. Para llevar a cabo la *estrategia* se requiere más *infraestructura*, que a su vez soportará más *servicios de TI* de la ciudad (como tramites en línea y solicitudes, entre otras) de tal manera que los ciudadanos acceden más fácil y mejor a estos servicios. Así mismo con un uso de los servicios de TI se van generando más *datos* sobre cada una de las transacciones y servicios que se usan, donde el análisis de estos datos permitirán facilitar la toma de decisiones y así reformular la *estrategia* a medida que sea necesario .

Ciclo 2: Datos- Servicios

Además, la cantidad de *datos* generados puede demandar más o mejores *servicios de TI* con el fin de facilitar el análisis de los mismos. Este ciclo tiene una mayor velocidad en su dinámica que los otros dos dado que la interacción de con los servicios por parte de los ciudadanos es constante mientras estos se encuentren disponibles y se posibiliten por la disponibilidad de la *infraestructura* adecuada.

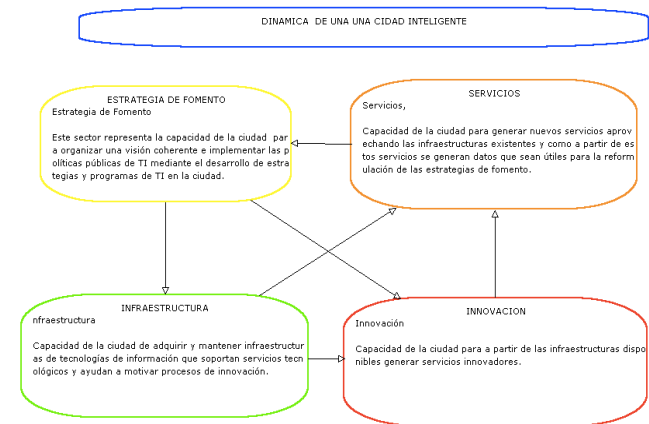


Figura 2. Mapa de sectores

B. Modelo de Influencias

La visión que ofrece un modelo expresado como diagrama de influencias tiene cualidades didácticas porque permite comunicar y discutir con sencillez las hipótesis de influencias o causales con

Ciclo 3: Estrategia-Innovación- Servicios

La *estrategia* además de *infraestructura* requiere que esta opere mediante *servicios de TI* disponibles para los ciudadanos. Los servicios pueden empezar a perder capacidad en la medida que se usen masivamente por los ciudadanos u otros factores, afectando su vida media, demandando inversión para mantenerlos o por la necesidad de aumentar la capacidad de estos servicios. Esa pérdida de capacidad puede compensarse si la estrategia promueve la *innovación* la cual, mediante nuevos, mejores y novedosos servicios se pueda ir superando la pérdida de capacidad de servicios, suplir la demanda de nueva y mejor infraestructuras de TI.

C. Modelo Flujo Nivel

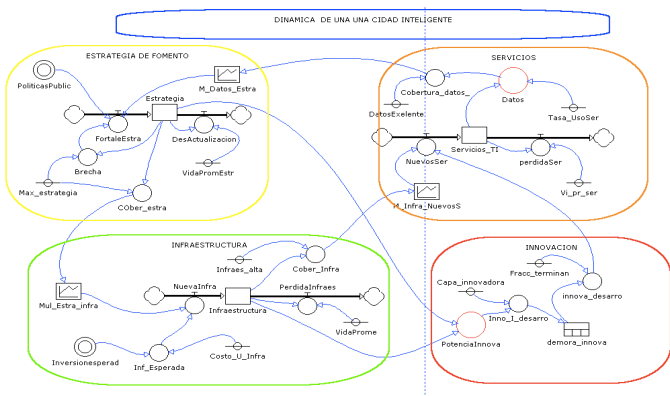


Figura 4.Diagrama Flujo-Nivel

D. Validación del Modelo

La validez de la estructura del modelo se corrobora a través del desarrollo y posterior análisis de diagramas causales y de Forrester, comparando la estructura planteada con la estructura real del sistema a partir de las teorías y supuestos alrededor del rol de las TI en las ciudades inteligentes, así mismo se evaluó la pertinencia de las ecuaciones propuestas y la consistencia dimensional de las mismas. En cada una de las pruebas realizadas, el comportamiento del modelo fue el esperado. Adicionalmente algunos análisis estadísticos reales a partir de datos disponibles por el Ministerio de Tecnologías de Información es su Índice de Gobierno en Línea, en algunas ciudades colombianas, soportan que en los comportamientos obtenidos los resultados del modelo tienen tendencias cercanas a la realidad.

E. Simulación inicial del comportamiento

Condiciones Iniciales de algunas variables:

Tabla 4.Condiciones Iniciales del Modelo

Nombre	Tipo	Valor Inicial
Estrategia	Nivel	10
Infraestructura	Nivel	3
Servicios_TI	Nivel	10
Capa_innovadora :	Parámetro	10
Costo_U_Infra	Parámetro	1

Para el análisis de comportamiento se toma inicialmente escenarios que varían dependiendo de la definición de la variable exógena PolíticasPublic : que representa el medida de la acción de tener políticas públicas que generen condiciones para las estrategias de la ciudad, en una escala de 0 a 1. Se comparan dos escenarios, una optimista qué se sostiene a largo plazo en un indicador alto de 0.7 y otro pesimista que luego de llegar a 0.7, cae a 0.2 y se mantiene en este índice

- Para un escenario Optimista se define INTLIN-EAL(2,0,1,0,0,0.14,0.624878,0.7,0.3,0.6,0.7)
- Para un escenario Pesimista se define INTLIN-EAL(2,0,1,0,0,0.14,0.624878,0.7,0.3,0.6,0.7,0.2)

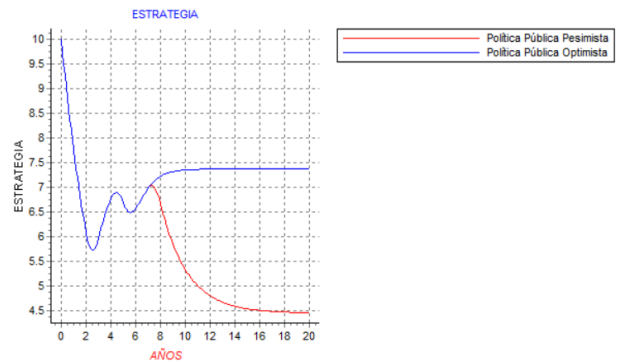


Gráfico 1 Nivel Estrategia respecto a dos escenarios

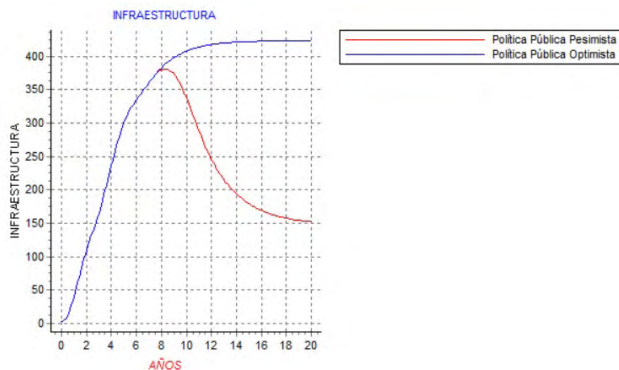


Gráfico 2. Nivel Infraestructura respecto a dos escenarios

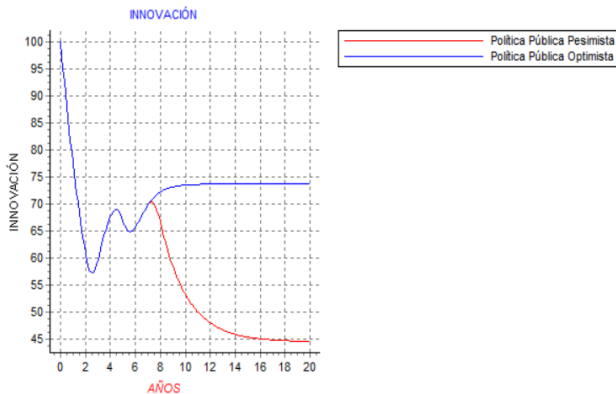


Gráfico 3. Nivel Inno_I_Desa respecto a dos escenarios



Gráfico 4. Nivel Servicios_TI respecto a dos escenarios

F. Análisis de Comportamiento

Como se aprecia en la simulación, el escenario con política pública optimista los comportamientos de las principales variables tienden a la estabilidad del sistema. Esto se explica ya que al generarse políticas públicas sostenibles hay mayor inversión en infraestructura lo que genera mejor prestaciones de servicios de TI, que pueden ser dinamizados por las innovaciones.

Por otra parte en el escenario pesimista se asumen que las estrategias no son constantes y decaen con los cambios de administraciones, en cada cambio de administración, por lo general no se continúan con las políticas del antecesor, o el tiempo de empalme en donde las nuevas administraciones dan continuidad hacen que sean tiempos muertos en los que la dinámica general del sistema puede verse afectado. La falta o no continuidad de estrategias, implica que los presupuestos son limitados, y limita entonces la renovación o actualización de la infraestructura y de esta manera los servicios de TI decaen, o se vuelven obsoletos y existen menos condiciones para la innovación.

Algunos ciclos por la naturaleza de las variables, tienen mayores

velocidades que otros, aquellos ciclos por ejemplos asociados con la innovación y la estrategia pueden tener retardos considerables que pueden afectar la estabilidad total del sistema con respecto a otros como infraestructura y datos que tienen dinámicas más constantes.

V. CONCLUSIONES

El concepto de ciudad inteligente es complejo tiene varias perspectivas de análisis, donde el aspecto de las Tecnologías de Información como elemento clave para estas iniciativas debe contemplar aspectos más allá de los técnicos y de infraestructura para comprender el papel que estas pueden jugar en proyectos de este tipo.

El modelo propuesto es una herramienta para comprender la dinámica de las tecnologías de información en el contexto de las administraciones públicas y como una adecuada gestión puede generar condiciones favorables para estas iniciativas.

La estrategia, dinamizada por políticas públicas puede incidir significativamente en el éxito de iniciativas inteligentes ya que permite que otras variables como infraestructura, servicios e innovación puedan ser sostenibles en el tiempo.

Al considerar los aspectos tecnológicos de las ciudades es importante tener en cuenta los aspectos estratégicos y de innovación, ya que son elementos importantes, es así como la existencia e implementación de estrategias adecuadas pueden incidir en las variables asociadas a los aspectos tecnológicos y operativos.

VI. TRABAJO FUTURO

Este modelo es una primera aproximación conceptual para identificar como una adecuada gestión de tecnologías puede ser un factor de éxito para las ciudades inteligentes. Para próximos desarrollos se contempla profundizar e incluir otras variables que le den mayor complejidad y completitud al modelo y considerar otros escenarios. Así mismo se propone que a partir de ello, se desarrollen algunos tableros de controles a partir del modelo matemático, para facilitar la comprensión y la toma de decisiones, para usuarios no expertos en DS, como funcionarios de administraciones públicas, o generar mecanismos de evaluación a partir de este modelo para identificar el estado actual de las ciudades y proponer planes de acción orientado a proyectos de ciudades inteligentes.

VII. REFERENCIAS

- [1] T. Nam and T. A. Pardo, "Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions," presented at the Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government In-

novation in Challenging Times, 2011.

[2] G. P. Maestre, “Revisión de literatura sobre ciudades inteligentes: Una perspectiva centrada en las TIC,” *Ingeniare*, no. 19, pp. 137-149, 2015.

[3] J. A. Parra and I. Dyner, “Cooperación, expectativa y racionamiento en dilemas sociales de recurso de gran escala,” *Revista de dinámica de sistemas*, vol. 4, no. 2, 2008.

[4] H. Chourabi, T. Nam, S. Walker, J. Gil-Garcia, and S. Mellouli, “Understanding Smart Cities: An Integrative Framework,” in *45th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii, 2012, pp. 2289-2297

[5] T. Nam and T. A. Pardo, “Smart city as urban innovation: Focusing on management, policy, and context,” in *Proceedings of the 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, 2011, pp. 185-194: ACM.

[6] M. K. Mishra, “Role of Technology in Smart Governance: ‘Smart City, Safe City’,” August 15, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2310465>

[7] (2010). *ICT for City Management: Using Information and Communications Technology to Enable, Engage and Empower City Stakeholders: a Research Project*. Available: http://www.economistinsights.com/sites/default/files/Siemens_Reports_2010_FINAL_TO_PRINT.pdf

[8] H. Schaffers, N. Komninos, M. Pallot, B. Trousse, M. Nilsson, and A. Oliveira, *Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation*. Springer, 2011.

[9] G. P. Maestre and W. Nieto, “Factores Clave en la Gestión de Tecnología de Información para Sistemas de Gobierno Inteligente,” *Journal of technology management & innovation*, vol. 10, no. 4, pp. 109-117, 2015.

[10] S. Andrade, H. Hugo, I. Dyner, A. Espinosa, G. López, and R. Hernán y Sotaquirá, “Pensamiento Sistémico: Diversidad en Busca de la Unidad,” Ediciones UIS, Bucaramanga, 2001.

Análisis de las pandillas en Cartagena a través de un diagrama causal.¹

Roca A.*, Gutiérrez C.*, Castellar L.*, Altamiranda M.*, Cabarcas A**.
arleysroca11.1@gmail.com, carlosgp1231@outlook.es, luixdani123@gmail.com, m.asofialco@gmail.com,
acabarcasa@unicartagena.edu.co.

* Estudiantes Ingeniería de Sistemas Universidad de Cartagena

** Docente Universidad de Cartagena

RESUMEN - En este artículo describimos cómo el estado marginal al que pertenecen muchos barrios de Cartagena es territorio propicio para el florecimiento de pobreza, la cual se traduce en falta de oportunidades, educación de bajo nivel, hambruna, etc. De aquí nacen las pandillas, nuestro tema central. Para la realización del diagrama causal, pensamos en situaciones y elementos clave, los relacionamos con las influencias que generan los unos sobre los otros y destacamos los ciclos de retroalimentación que se presentaron. Encontramos que el elemento más importante del diagrama es la educación, sin ésta, las opciones de conseguir un empleo digno escasean y aumenta la pobreza, se crea un vacío mental y la necesidad de hacer alguna actividad produce que los jóvenes migren hacia la calle.

PALABRAS CLAVE: Pandillas, educación, pobreza, violencia, jóvenes.

ABSTRACT - In this article we describe how the marginal state to which many neighborhoods of Cartagena belong is a propitious territory for the flourishing of poverty, which translates into lack of opportunities, low level education, famine, etc. central. For the realization of the causal diagram, thoughts on situations and key elements, we relate them to the influences that generate the ones about the others and we highlight the cycles of feedback that were presented. We find that the most important element of the model is education, without it, the options to get a decent job is scarce and poverty increases, a mental vacuum is created and the need to do some activity causes the young to migrate to the street.

KEYWORDS: Gangs, education, poverty, violence, young boys.

I. INTRODUCCIÓN

El siguiente artículo hace referencia a las pandillas en la ciudad de Cartagena, hablaremos de las formas en que se originan y las consecuencias que trae esta guerra local tanto para la comunidad en general como para la comunidad que la padece. De cómo la corrupción obstruye la llegada de recursos económicos y de cuánto

hace falta una escuela en estos sectores pobres [1], la influencia de las faltas de oportunidad y la mala educación en la población de jóvenes que habitan en la ciudad en la búsqueda de empleo, y cómo contribuye éste desempleo en la creación de pandillas [2]. Además, vemos cómo una gran parte de Latinoamérica padece de este fenómeno y que esta situación, aunque en distinto entorno, no está tan distante de la que se presenta en Cartagena [3]. En Cartagena la mayor parte de la población tiene menos de 30 años, lo cual corrobora que las pandillas están conformadas en su mayoría por jóvenes [4]. Todos estos datos se analizaron teniendo en cuenta la metodología sistémica descrita por Javier Aracil, la cual nos indica que para entender el comportamiento de un sistema, necesitamos diseccionar cada una de sus partes (análisis) y saber cómo se integran estas (síntesis) [5].

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Cartagena es una ciudad con sectores muy peligrosos y llenos de violencia, y como producto de esta violencia se originan las pandillas, pero estas a su vez también generan violencia, lo que hace que este problema se convierta en un círculo vicioso. Al analizar esta problemática, podemos hallar algunos de los motivos que hacen que se genere esta gran problemática para la ciudad:

- Pobreza.
- Convivencia.
- Desintegración de la familia.
- Problemas sociales.
- Corrupción.
- Venta ilícita de drogas.
- Carencia de educación.

La desintegración familiar y la falta de educación son las principales causas para que los adolescentes y jóvenes se integren a las “pandillas” porque en la familia se genera un vacío que la sustitución de la crianza de los hijos por otros familiares o conocidos no

¹ Este artículo se presenta como resultado del trabajo realizado en el marco de la asignatura Teoría General de Sistema del programa Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena.

pueden llenar, y esto conlleva a los problemas sociales que afectan directamente la convivencia, la educación es parte fundamental de éste problema, ya que éstos jóvenes tienen muy pocas chances de conseguir un buen empleo y por tanto, deben buscar una manera de obtener ingresos, y la opción más rápida que tienen a la mano es el tráfico de drogas.

La corrupción aumenta las faltas de todo tipo de oportunidades en la población, tanto de infraestructura para la educación como de salud. Gracias a ella, estas zonas carecen de escuelas donde éstos jóvenes puedan desarrollar actividades académicas y viven en condiciones precarias de salubridad ya que no poseen sistema de alcantarillado ni acueducto (por ejemplo: zona de la vía perimetral) [1].

Uno de los elementos que influyen en las “pandillas” es el sentido de pertenencia, que se desarrolla en su interior, esto cubre una necesidad muy importante en el adolescente porque éstos, provienen principalmente de familias donde por la desintegración ellos se sienten o son excluidos de este espacio. Por tanto necesitan mucho más que otros adolescentes un espacio en el que se sienten apoyados. Este espacio lo encuentran en la “pandilla”. En los barrios existen las líneas imaginarias que consisten en los límites que puede deambular un integrante de la pandilla por la zona, por esta razón se ven obligados a pelear territorios en los cuales se permiten hacer acciones ilícitas como la venta de drogas.

Constantemente, las autoridades locales hacen campañas de desarme y diálogo, e incentivan a los jóvenes a través del emprendimiento a alejarse de este mundo, aunque con el pasar del tiempo, el estado los termina abandonando y ellos vuelven a caer en este mundo.

Según el informe de la UNODC (United Nations Office on Drugs and Crime, Oficina de Naciones Unidas contra la Droga y el delito) enfocado a la delincuencia y a su impacto en países como Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. Se pudieron identificar ciertas condiciones que propiciaban la violencia en esos países, factores como: la demografía, las condiciones sociales y económicas (en las que podemos mencionar la falta de empleos que hace que los jóvenes no tengan los suficientes alcances económicos [2] y la mala infraestructura de los centros educativos), debilidades en los sistemas de justicia penal, conflictos internos y el desplazamiento forzado de la población, problemas no muy distantes a los presentados en “el corralito de piedra” [3].

Nos apoyamos de unos datos de “Cartagena, cómo vamos” [4], un programa de información y estadísticas elaborado por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), éste nos señala que factores como la demografía, las condiciones sociales y económicas, también propician a la violencia en Cartagena debido a que la mayoría de los actos violentos son cometidos por jóvenes entre los 15 y 24 años de edad.

A menudo jóvenes entre ese rango de edad son pertenecientes a diferentes “Bandos o pandillas”, y entre mayor es este grupo social, la probabilidad de que se cometan actos violentos también aumenta considerablemente.

La población cartagenera está constituida en su mayoría por jóvenes [4], siendo la población que se presenta más vulnerable a la situación en la que se encuentran y siendo además, los mayores aportadores de personal para la formación de pandillas.

III. METODOLOGÍA

Debido al constante aumento en el número de noticias relacionadas con las pandillas en muchos medios de comunicación, decidimos tomar el tema dada la importancia que este tiene en la ciudad, además del testimonio de uno de nuestros compañeros de clase que vive en carne propia la violencia de las pandillas en el sector donde vive.

Atendiendo la metodología sistémica descrita por Javier Aracil [5], procedimos a analizar qué elementos podrían servir para la realización del diagrama causal, buscamos relaciones en cada uno de los elementos con los demás elementos que podrían hacer parte del sistema y estudiamos cada problema que surgía de estas interacciones dadas entre los elementos.

Sin embargo, como el mismo Aracil menciona, “el mero análisis de un sistema no es suficiente; no basta con saber cuáles son sus partes. Para comprender su comportamiento necesitamos saber cómo se integran; cuáles son los mecanismos mediante los que se produce su coordinación.”. Por ello, procedimos a analizar todos ciclos de retroalimentación que se presentaban en el sistema, de esta manera pudimos obtener una síntesis del sistema y pudimos observar cómo este problema tomaba una forma sistemática, que fue nuestro propósito desde el principio.

IV. RESULTADOS

Para la elaboración del diagrama causal tuvimos en cuenta los elementos más importantes para nosotros que rodean al tema, cada elemento tiene una relación con otro, son causa y consecuencia. A mayor índice de uno, mayor influencia negativa o positiva para el otro. Además, al relacionar varios elementos podemos formar ciclos de retroalimentación, que nos ayudan a analizar comportamientos que adquieren éstos elementos en el sistema.

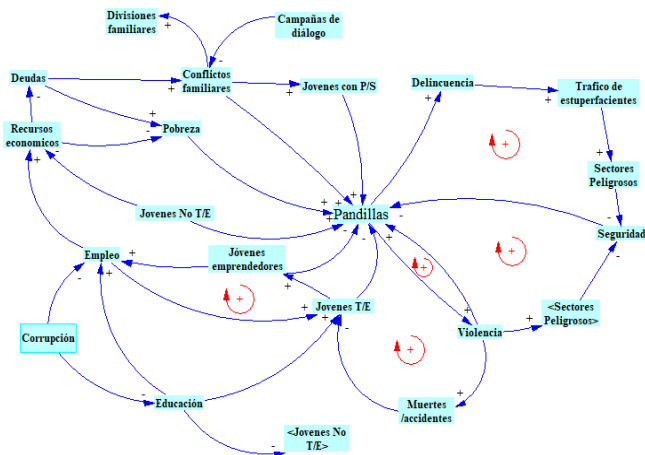


Figura 1. Diagrama Causal de las pandillas en Cartagena

Se analizan cada uno de los ciclos de retroalimentación que se presentan en el modelo, destacándose entre estos, el ciclo que describe que el emprendimiento genera empleo y este genera jóvenes con mejor estado económico, que se traduce en bienestar para el grupo social en donde esté incluido el joven, al igual que se destaca el ciclo que relaciona las pandillas con la delincuencia, que influye positivamente (aumentando) el tráfico de estupefacientes, llenando las calles de inseguridad y provocando miedo en los habitantes de estos sectores. Además se presentan tres ciclos más de retroalimentación positiva que se explicarán a continuación.

1. La presencia de pandillas en ciertos sectores de la ciudad fomentan un ambiente propicio para el desarrollo de actos ilícitos, uno de los más combatidos por las autoridades locales y nacionales es el tráfico de estupefacientes, dejando a los habitantes en estado de continua inseguridad, lo que a su vez se presta para la aparición de nuevas pandillas como se ve ilustrado en la Fig. 2.

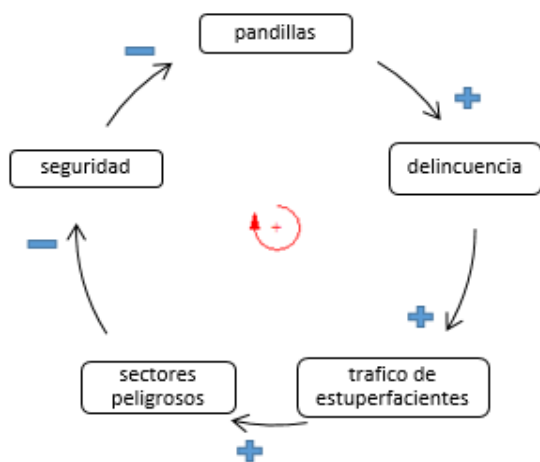


Figura 2. Ciclo de Retroalimentación 1

2. La presencia de pandillas da lugar a enfrentamientos violentos con el fin de “gobernar territorios” en los cuales sólo sus miembros puedan traficar sustancias y ejercer un cierto control sobre el territorio desatando el caos en estos sectores (entendiéndose por caos las múltiples manifestaciones de violencia como asaltos a domicilios, asaltos a mano armada, daños en bienes públicos y privados, etc.). Fig. 3.

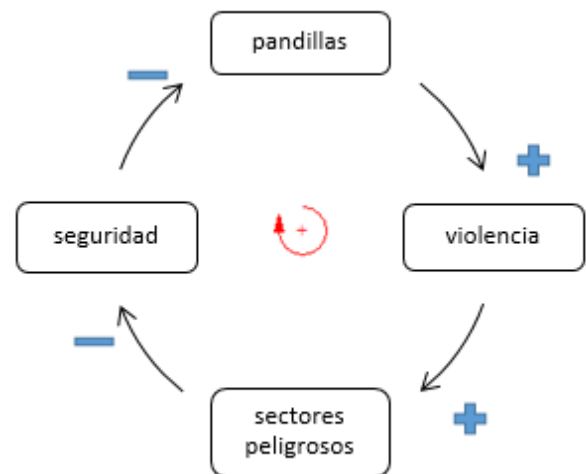


Figura 3. Ciclo de Retroalimentación 2

3. La simple presencia de las pandillas y los enfrentamientos que se dan entre estas originan nuevas rencillas y asperezas, provocando un ciclo que sólo puede acabar eliminando la variable pandillas, ya que éstas son la que generan la violencia. La violencia en cambio, las fortalece. Fig. 4.

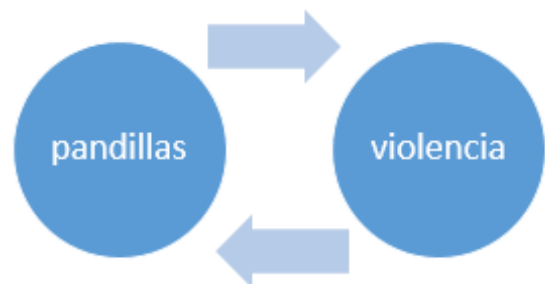


Figura 4. Ciclo de Retroalimentación 3

4. La presencia de pandillas en la ciudad producen violencia a por doquier, ésta violencia se traduce en muertes y daños físicos a las personas que participan en éstas. Si se presentara una mayor tasa de jóvenes que trabajaran o que se mantuvieran

ocupados en actividades productivas, las pandillas se reducirían o se anularían ya que los jóvenes tienden a agruparse a éstas por “no hacer nada en su casa” [1]. Fig. 5.

5.

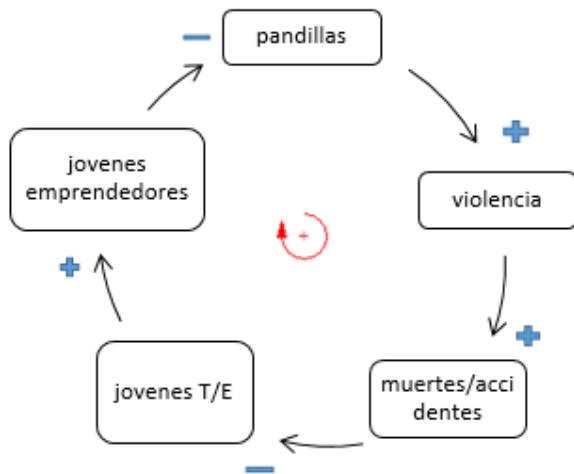


Figura 5. Ciclo de Retroalimentación 4

6. Si hubiera más educación y oportunidades para los jóvenes pandilleros, se empezaría a crear una cultura de emprendimiento en ellos, ésta a su vez motivaría a los jóvenes a salir adelante, a estudiar, además, al estudiar, podrían conseguir empleos con mayor facilidad y tener una mejor estabilidad económica [2]. Fig. 6.

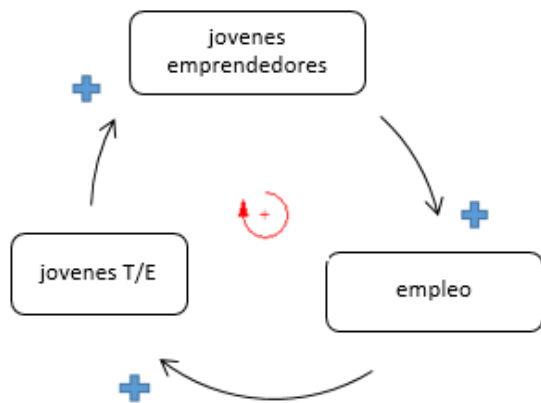


Figura 6. Ciclo de Retroalimentación 5

V. CONCLUSIONES

Conforme al diagrama causal desarrollado en el ámbito del problema, podemos identificar los causantes que generan a las pandillas, principalmente la violencia y la falta de oportunidades que se ofrecen en materia de educación y en el campo laboral, lo cual

cada día aumenta el número de jóvenes sin estudios y familias desempleadas, esto aumenta la tasa de pobreza y de aquí radican muchos de los problemas familiares, arrojando a los jóvenes a buscar otras alternativas que no contribuyen al bienestar de la sociedad para solventar sus necesidades afectuosas y económicas, y de esta manera deciden unirse a estos grupos marginales como un punto de apoyo, encontrando en este la manera más fácil de conseguir dinero a través de prácticas ilegales, y así es como las pandillas cada día crecen más y más.

Con el pasar de los días la cantidad de pandillas se seguirán extendiendo por toda la ciudad ocasionando más inseguridad, aumentando el número de sectores peligrosos, provocando miedo en las comunidades para enfrentarse a estos jóvenes con problemas sociales para evitar a toda costa alguna situación desfavorable para ellos. Esta problemática no solo le compete al gobierno solucionar sino también a nosotros los ciudadanos en general, ver qué les enseñamos a nuestros hijos en casa, que sembramos en ellos en el día a día.

Tampoco es un secreto que la corrupción cada día crece más y a causa de eso la educación y las oportunidades de trabajo se ven afectadas. Para nosotros, la educación juega un papel muy importante en el problema abordado, es el puente que se debe empezar a construir en Cartagena para solucionar el tema de las pandillas y la pobreza. Pero sin duda alguna, la actitud de las personas que viven en esta situación es la que define su futuro, como es el caso de la ciudad de Medellín, que hace algunos años fue epicentro de situaciones de violencia entre pandillas o combos en sus comunas. Muchos de sus jóvenes eligieron alejarse de ese mundo gracias al constante apoyo recibido por parte de fundaciones y el estado.

Rehabilitaciones, educación y cultura le cambiaron la cara a la que es hoy lejos la ciudad más innovadora del país. Cartagena no está muy lejana de esa situación, debemos empezar a cambiar la mentalidad de las personas, a brindarles educación y generar el sentido de pertenencia hacia la ciudad, creando cultura desde cada hogar.

VI. BIBLIOGRAFÍAS

- [1] William Álvarez (2016). Jóvenes, violencia y pandillas en las periferias de Cartagena-Colombia. Aproximaciones teóricas y fragmentos etnográficos. Universitas, XIV (25), pp. 191-213.
- [2] De La Hoz Aguilar, Fabio José; Quejada Pérez, Raúl Y Yáñez Contreras, Martha. Desempleo juvenil en Cartagena de Indias: un análisis transversal de sus causas y consecuencias. Pap. Poblac. 2013, vol.19, n.75.
- [3] Bruneau, T. C. (2014). PANDILLAS AND SECURITY IN CENTRAL AMERICA. Latin American Research Review, 49(2), 152-172.

- [4] DANE, elaboración Cartagena Cómo Vamos. Pirámide poblacional de Cartagena (2015).
- [5] Javier Aracil. (1995). Dinámica de sistemas. Madrid, España: Isdefe, pp. 10-12.

Strategic Dynamic Thinking to Manage Public Order in Colombia: A Framework to Improve Post-Conflicts Security

J. A. Parra, A. R. Lizcano, E. Pineda

Abstract— Security in Post-conflict zones is a priority in Colombia. However, strategists have difficulties to understand how to keep low Public Order Incidents. We used System Dynamics and a Strategic Point of View to develop a frame for learning about Public Order Incidents. We develop a Working Dynamic Hypothesis and a Simulation Model to develop understanding about the problem. We found that Public Order Incidents can be explained as a consequence of a very limited perspective about the conflict. The strategies on resources like Members produced oscillations in Public Order Incidents.

Palabras Clave — Public Order, Peace, Colombia, Post- Conflict.

I. INTRODUCTION

THE Colombian National Army has as a mission to keep the public order and security in all the Territory. This mission supposes the army needs to develop strategies to reduce public orders incidents. However, every region in Colombia is unique. Each region has its own characteristics, conditions, and resources. The illegal arm groups try to produce incidents to achieve territorial control and develop activities against the law and the peace. Despite the restricted availability of resources, illegal arm groups can produce public orders incidents. When a military strategist needs to manage a region, he is going to face the following problems:

- He does not have a tool which allows to integrate different strategies for testing its effectiveness to reduce Public Order Incidents.
- He does not have a tool to define the specific conditions to access resources to support strategies both the force and the enemy.
- He does not have a tool to test the enemy's strategies.

At this time, the strategist of the army do not have a dynamic framework to enable the design of strategy adaptable to specific conditions in each region. As a consequent, the Army has difficulties to reduce Public Order Incidents in the long run. Figure 1.

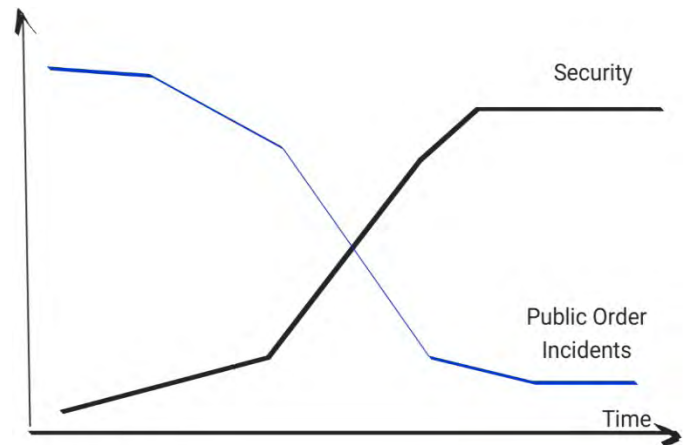


Figure 1. Reference Mode. Security vs. Public Order Incidents.

We conduct a free interview with a member of the army to find elements about the problem. This member mention elements like financial resources, support of the people, intelligence, logistics, equipment, science and technology as very important to be considered in strategy development. Incidents are the key variable to control, and the strategy should neutralize the enemy strategies Figure 2.

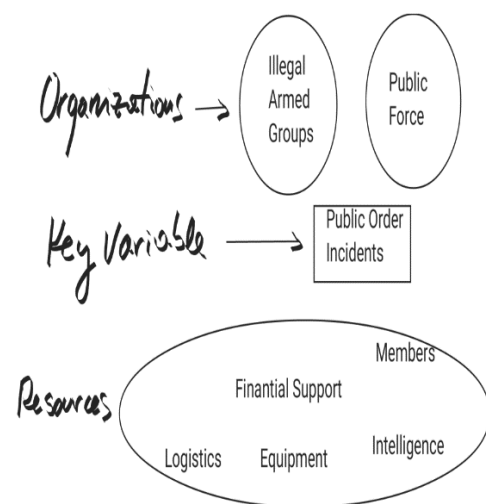


Figure 2. Some elements an Strategist of the Army needs to consider in the development of the strategy.

The strategist assumes the situations as a confrontation between armed forces which use resources to affect the Public Order Figure 3. As we presented, the problem of the strategists can be studied as a problem characterized by its dynamic complexity [1]; [2]; [3]. They do not have a framework to test their own conceptions about the dynamics of the public order and because of that they face problems for learning how to keep low the incidents which disrupts the public order. This problem is relevant because after the sign of the peace treaty the army will have to solve new problems in security.

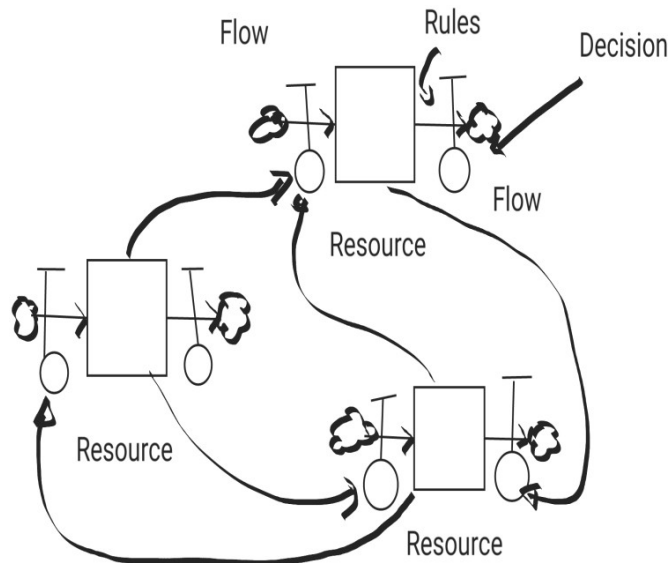


Figure 3. Strategy Approach.

The consolidation of security in every region in Colombia requests the development of learning frames which allows strategist these capacities:

- To design strategies and test their effects on resources using plausible hypothesis, incomplete and delayed information to reduce incidents which affect the public order. This requirement is very compatible with the view of strategic dynamics [4].
- To train member of the army to use modelling and simulation based on System Dynamics to increase the capacity of the army to craft better strategies for reducing incidents which affects the public order.

We use System Dynamics to understand dynamic complexity in the problem to keep low the level of incidents which affects public order in a generic region in Colombia. We assume the strategists need to know the main strategic resources they have to manage and the decision point they can change [5]. We determine the more important decision points in the situation and propose rule to drive decision. This defines a set of possible strategies to define y evaluate [6].

This approach is based on the view of organization which System Dynamics defines to study dynamic problems [7].

Organizations and their problems can be assumed as networks of information and material defining feedback loops. Strategists need frameworks to cope with their bounded rationality [8] and incomplete information [9]. We define gradually levels as strategic resources, then we evaluate the effects of decisions on the flows of these levels in the incidents over public order as shown in Figure 4.

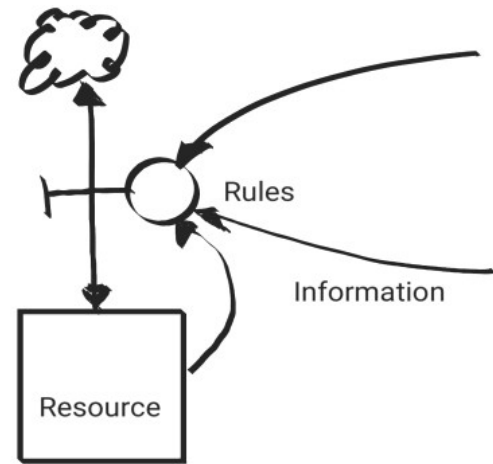


Figure 4. Model of Decision Making.

For the modeling user is essential to recognize these decision-making points since the information systems that they design must provide pertinent, timely and quality information to feed decision points and to produce changes in the strategic resources that allow the achievement of the organizational purposes.

In this article we study of problematic organizational situations related to Public Order through the development of a simulation model developed using the guidelines of system dynamics. In such a model, the strategist was able to recognize in the strategic resource map the most important decision points, the information required to feed the decision and the consequences of that decisions on the levels of strategic resources, organizational performance and the achievement of the goals.

Decisions require information not always available. Sometimes, information is delayed and distorted [3]. The Information about the status of strategic levels inside and outside the organization should feeds the rules inside the decision points. In this way, rules are required to define actions that produce changes in one or more strategic resources.

Decision makers require information about the levels of strategic variables inside and outside their organization. Normally, decision-makers do not have instant, accurate, adequate, and relevant information to make informed decisions. At other times, information may be available but decision rules may not be useful to achieve. At this level, the study of information needs can lead to the development of better decision rules through organizational learning processes. In this way the professional in information

systems must recognize the information necessary for the decision making and define the requirements of the information systems that must provide such information as well as mediate in the improvement of the decision rules promoting an organizational learning that ensures That the rules effectively bring the organization closer to achieving its goals.

frequent. However, the Literature offers elements related to the use of the strategic resources to cope with threats against Public Order. We did not find a paper from contexts of conflict such as the Colombian one. However, we found contributions that study the anti-terrorist dynamics both guerrilla and religious fundamentalist for other countries like Iraq and Afghanistan.

II. METHOD

System Dynamics offers a language where the strategy designer can develop the following activities [10]:

- To represent the military organization and its context through interconnected strategic resource maps.
- To locate in these maps the decision points and the resources controlled by those decisions.
- To identify decision rules.
- To identify the sources of information needed to feed decision rules.
- To define the information requirements to feed the rules.
- To evaluate the relevance of information and rules through simulations on the simulation games of the organizational representations of the cases studied.
- To locate the strategic resources of the enemy, the strategies with which it manages them and the effects of those strategies on the number of public order incidents in a specific region.
- To promote organizational learning that allows reevaluation of rules and information required to achieve organizational goals.

III. LITERATURE REVIEW

System Dynamics is used globally for developing simulation tools which support the design of strategies characterized by dynamic complexity. Because of the strategic nature and the advantage of having these tools, we do not find a lot of reports about its use.

A literature review was conducted using the following key words: system, dynamics, model, national, security, anti, and terrorism. We were looking in Google academic search engine and in the proceeding of the international systems dynamics conferences. The search was performed on March 18, 2017. The table below characterizes the sources found selected by the number of citations, the

relevance to the study objective, the reported security threat, if the work was oriented to the Management, if it was oriented to the study of public order, and the country reported both object of study and study.

As a conclusion of this review, we claim that the study of the public order from a perspective of public order incidents is not frequent. However, the Literature offers elements related to the use of the strategic resources to cope with threats against Public Order. We did not find a paper from contexts of conflict such as the Colombian one. However, we found contributions that study the anti-terrorist dynamics both guerrilla and religious fundamentalist for other countries like Iraq and Afghanistan.

Source	Modelling Approach	Object of Study	Security Threat Reported	Oriented To Management	Oriented to public order	Country
[11]	System Dynamics	National Security	Insurgent Threat	No	National Security and International Insurgency	USA
[12]	Discrete Events, Agents, PASON Simulation system.	How structure promotes Insurgency, and Anti-terrorist activities	Violence between Insurgency and Anti-terrorist.	No	No	UK
[13]	System Dynamics	Design of buildings for resisting terrorist attacks.	Bio-terrorist Attacks against Buildings	No	No	USA
[14]	Causal Diagrams	Dynamics of Political Terrorism	Political objectives and terrorism.	No	No	Canada
[15]	System Dynamics	Dynamics of the State Security	Terrorism	Investments to improve States Security	Yes	Iraq and Afghanistan
[16]	System Dynamics	Dynamic of the allocation of resources in conflicts.	Access to resources to support conflicts.	Yes	No	USA

Table 1. Literature Review.

IV. RESULTS

We define a Working Dynamic Hypothesis as we progress in the learning process. In this process, we identify strategic resources gradually in order to keep accountability about how the structure produces effects on public order.

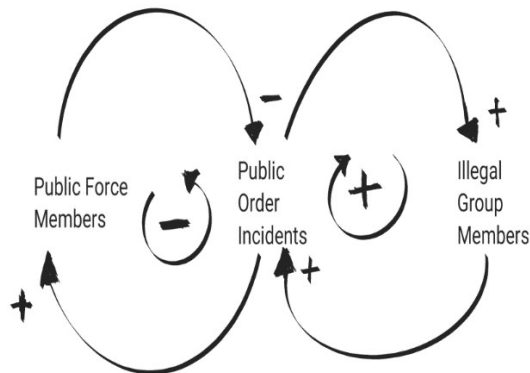


Figure 5. Working Dynamic Hypothesis.

Figure 5 presents how Public Force Members reduce Public Order Incidents. If Illegal Groups perceive security based on less Public Order Incidents, they are going to increase their members to produce more Public Order Incidents. Here we have a balance feedback loop which is developed by Public Forces and a reinforce feedback loop based on the activities of the Illegal Groups.

Based on our working hypothesis, we developed a Forrester Diagram in which we define as Strategic Resources the following:

- Public Forces Members
- Illegal Group Members

As presented in Figure 6, the resource Public Forces members has three strategic decisions which should be considered in order to understand how to keep security and Public Order incidents low:

- To increase public force members in the zone.
- To move public force members to another different zone.
- To decrease the number of public force members because casualties trying to keep security inside the zone.

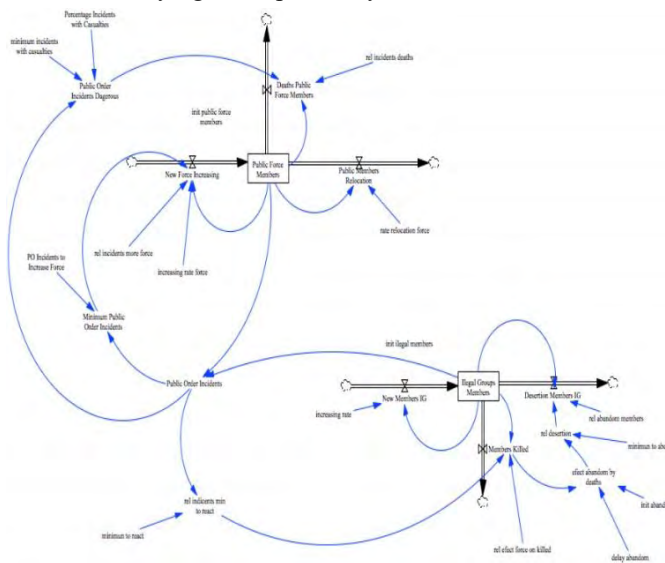


Figure 6. Forrester Diagram.

Illegal forces have almost the same resources to affect public order.

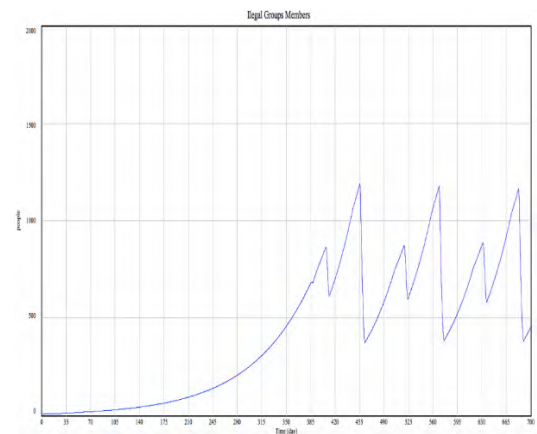


Figure 7. Illegal Groups Members

We performed Simulations to check dynamic implications of the structure. This structure is based on the working dynamic hypothesis.

Figure 7 presents Illegal Group Members dynamics. The Strategy of both Public Forces and Illegal Groups produces oscillations. Every side in this conflict is trying to affect the Public Order.

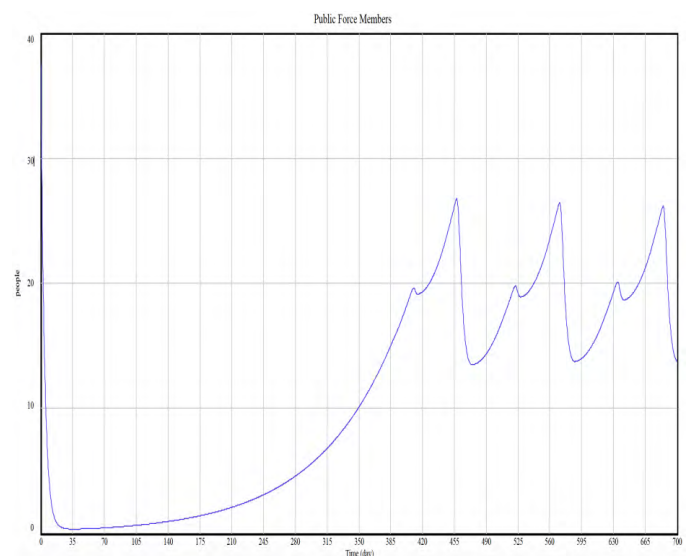


Figure 8. Public Force Members

Figure 8 presents Public Forces dynamics. Public Forces effort to keep security produces more actions to affect Public Order. This is presented in Figure 9.

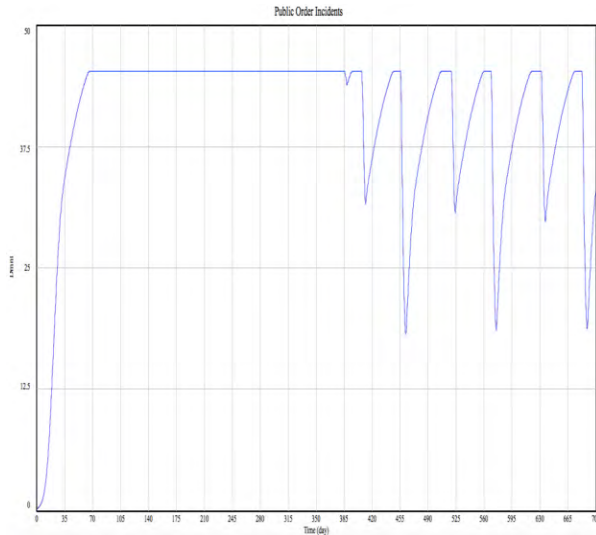


Figure 9. Public Order Incidents

As we can analyze based on this simulations experiments, the existence and strategic misunderstanding of the systems produces oscillations in Public Order Incidents.

V. DISCUSSION

We develop a framework for learning a b out Strategy to manage Public Order in a specific zone in Colombia. We did not find papers in our Literature Review which report this kind of approach.

VI. CONCLUSION

We claim Public Order Incidents can be explained as a consequence of a very limited perspective about the conflict. The strategies on resources like Members produces oscillations in Public Order Incidents. We found that System Dynamics can be used to promote a more depth perspective about strategic thinking in security. This learning experiment performed supports the importance of peace process as a systemic solution of this problem. However, more research is required for considering more strategic resources.

VII. ACKNOWLEDGMENT

The authors express special thanks to UNAB, UIS and UNAD universities.

VIII. REFERENCES

- [1] J. Sterman, Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world, Irwin: McGraw-Hill, 2000.
- [2] E. Diehl y J. Sterman, «Effects of feedback complexity

on dynamic decision making,» *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, vol. 62, n° 2, p. 198–215, 1995.

[3] J. Sterman, «Misperceptions of feedback in dynamic decision making,» *Organizational behavior and Human Decision Processes*, vol. 43, n° 3, p. 301–335, 1989.

[4] J. Morecroft, Strategic modelling and business dynamics: a feedback systems approach, Wiley, 2007.

[5] J. Morecroft, «System dynamics and microworlds for policymakers,» *European Journal of Operational Research*, vol. 35, n° 3, p. 301–320, 1988.

[6] J. W. Forrester, «Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers,» *Harvard Business Review*, vol. 36, n° 4, p. 37–66, 1958.

[7] J. Sterman, «A behavioral model of the economic long wave,» *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 6, n° 1, p. 17–53, 1985.

[8] H. Simon, «A behavioral model of rational choice,» *The quarterly Journal of Economics*, vol. 69, n° 1, p. 99–118, 1955.

[9] J. Morecroft, «Rationality in the analysis of behavioral simulation models,» *Management Science*, vol. 31, n° 7, p. 900–916, 1985.

[10] J. W. Forrester, Industrial Dynamics, Cambridge, MA: MIT press, 1961.

[11] N. Choucri, C. Electris, D. Goldsmith, D. Mistree, S. E. Madnick, B. Morrison, M. Siegel y M. Sweitzer, «Understanding & Modeling State Stability: Exploiting System Dynamics,» de In Aerospace Conference, 2006 IEEE, 2006.

[12] S. Raczyński, «Simulation of the dynamic interactions between terror and anti-terror organizational structures,» *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 7, n° 2, 2004.

[13] B. Thompson y L. Bank, «Use of system dynamics as a decision-making tool in building design and operation,» *Building and Environment*, vol. 45, n° 4, p. 1006–1015, 2010.

[14] J. J. Ross, «Structural causes of oppositional political terrorism: Towards a causal model,» *Journal of Peace Research*, vol. 30, n° 3, p. 317–329, 1993.

[15] J. R. Enos y J. V. Farr, «State security dynamics and the impact of intervention to build country capacity,» de Pro-

cedings of The International System Dynamics Conference, Cambridge, MA, USA, 2013.

[16] S. Anderson, M. Strickland y A. Mazur, «Exploring policy and initiative decision making in a dynamic conflict environment,» de International System Dynamics Conferences, Cambridge, MA, USA, 2013.

[17] M. Moya y J. Vázquez, «De la Cultura a la Cibercultura: la mediatización tecnológica en la construcción de conocimiento y en las nuevas formas de sociabilidad,» Cuadernos de Antropología Social, nº 31, pp. 75-96, 2010.

IX. Autores



Jorge Andrick Parra Valencia recibido en los grados de Ingeniería de Sistemas y Maestría en informática de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia en los años 1997 y 2004 respectivamente; es Doctor en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, 2010 Sus intereses actuales se concentran en la investigación en el área de pensamiento sistémico, recursos comunes y modelado con dinámica de sistemas y en el ejercicio de la enseñanza de la misma. Actualmente es docente de planta de la UNAB.



Adriana Rocío Lizcano Dallos recibida en el grado de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia en los años 2000, es Magíster en Tecnologías de la Información aplicadas a la Educación de UPN, 2012 y Magíster en Gestión, Aplicación y Desarrollo de software de la UNAB 2013. Sus intereses actuales se concentran en la investigación en el área de aplicación de TI a la educación Actualmente es docente de planta de la UIS



Eliécer Pineda Ballesteros recibido en los grados de Ingeniería de Sistemas y Economía de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia en los años 2000 y 2005 respectivamente; es Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Cooperativa de Colombia, 2007 y Magíster en Informática de la UIS, 2007. Sus intereses actuales se concentran en la investigación en el área de modelado con dinámica de sistemas y en el ejercicio de la enseñanza de la misma. Actualmente es docente de planta de la UNAD.

Análisis de la contaminación ambiental en la bahía de Cartagena¹

Del Campo, Valeria*. Paternina, Ronald*. Scholborgh, Francisco*. Vizcaino Andrés*. Cabarcas Amaury**. valeria.delcampo@hotmail.com*, {[ronaldpaternina11](mailto:ronaldpaternina11@gmail.com), [frankymster](mailto:frankymster@gmail.com), [pipe.jaider](mailto:pipe.jaider@gmail.com)} @gmail.com*, acabarcasa@unicartagena.edu.co**

* Estudiantes Ingeniería de Sistemas Universidad de Cartagena

** Docente Universidad de Cartagena

Abstract— La contaminación ambiental se define como la presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que interfieren en el comportamiento del medio ambiente generando cambios que afectan de manera nociva directamente a los seres vivos de dicho medio y/o a sus alrededores. En la bahía de Cartagena podemos determinar varios agentes contaminantes como: Gases producidos por combustión, sustancias tóxicas como mercurio y petróleo, sedimentación, deforestación de los manglares etc, los cuales en su mayoría son inducidos a la bahía de manera consciente por acciones antropológicas. Con la ayuda del pensamiento sistémico, la teoría general de sistemas y la dinámica de sistemas se realizó un diagrama causal (o de influencia) con los elementos que intervienen en la contaminación de la bahía, definiendo la interacción entre ellos con el objetivo de identificar los principales causantes de esta problemática. Como resultado del análisis de estas comprendemos que el ser humano es el principal causante de esta problemática por sus diferentes actividades, sean marítimas u otras que de igual forma afectan a la bahía directa o indirectamente.

Términos— Bahía de Cartagena, basuras, ciénagas, contaminación, diagrama causal, dinámica de sistemas, fauna, flora, manglares, metales pasados, mercurio, pensamiento sistémico, sedimentación.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo, esta puede surgir a partir de ciertas manifestaciones de la naturaleza (fuentes naturales) o bien debido a los diferentes procesos productivos del ser humano (fuentes antropogénicas) que conforman las actividades de la vida

diaria. En esta actividad nos enfocaremos en aquellos procesos que causan desequilibrio al medio ambiente relacionados a las personas e industrias.

Las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico más importantes son: industriales (frigoríficos, mataderos y curtiembres, actividad minera y petrolera), comerciales (envolturas y empaques), agrícolas (agroquímicos), domiciliarias (envases, pañales, restos de jardinería) y fuentes móviles (gases de combustión de vehículos). Como fuente de emisión se entiende el origen físico o geográfico donde se produce una liberación contaminante al ambiente, tradicionalmente el medio ambiente se ha dividido para su estudio y su interpretación en esos tres componentes que son: aire, agua y suelo; sin embargo, esta división es meramente teórica, ya que la mayoría de los contaminantes interactúan con más de uno de los elementos del ambiente.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Situándonos en nuestra ciudad Cartagena de Indias, podemos encontrar un ejemplo de contaminación ambiental en los cuerpos de agua tal como la bahía de Cartagena. La bahía de Cartagena lleva sufriendo problemas de contaminación desde hace más de 50 años, tal como lo menciona Patricia Barrera Silva en su artículo para el tiempo [1]: “La bahía de Cartagena vive tal vez uno de sus peores momentos de la historia.”. Esto se debe a que la bahía ya lleva tiempo siendo contaminada por diversas causas, entre las más comunes y más riesgosas para el ecosistema marino y terrestre están las descargas de aguas residuales directas (caso Tierra Bomba), deforestación de áreas de manglar, actividades de transporte marítimo y, en especial, los aportes de sedimento del Canal de Dique que llegan allí a través de las aguas del río Magdalena, e incluso contaminación por mercurio y otros metales pesados como afirma Juan Darío Restrepo Ángel, director científico de Basic: “el mercurio no es el único problema que tenemos en los sedimen-

¹Este artículo se presenta como resultado del trabajo realizado en el marco de la asignatura Teoría General de Sistema del programa Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena.

tos. También están el cromo, el níquel y el plomo” [6]. Además se aclaró que a pesar de que los niveles de contaminación por mercurio están disminuyendo, en los sedimentos existe una alarmante cantidad del mismo. Según Basic, del canal del dique y el río Magdalena provienen alrededor de 2000 toneladas de sedimentos por días y que las concentraciones de sedimentos alcanzan hasta 50 miligramos por litro en el sector de Bocagrande [6].

De acuerdo con el estudio ambiental de la organización Ecoral, por encargo del Grupo Argos y con la participación de científicos de la Universidad de Texas[1], a la bahía le caen nueve millones de toneladas de sedimentos anuales, que no solo afectan a las actividades navieras y de pesca sino también al propio ecosistema marino como el caso de los arrecifes coralinos de los cuales se registra la pérdida de 180 hectáreas de los mismos, y se encuentran en riesgo los sobrevivientes en las islas del rosario. Debido a la construcción del Dique y sus rectificaciones, se mezclan aguas dulces y saladas cambia la salinidad que requieren los corales, pastos marinos y manglares para poder sobrevivir; Los manglares cumplen la función proteger las costas y generan un microclima agradable y aire puro y los pastos marinos sirven de alimentos para las distintas especies marinas como peces, tortugas, entre otros.

Otro de los agentes contaminantes que mayor impacto ambiental tiene es el mercurio [2]. Éste al ser vertido en el agua por las industrias, se precipita combinándose con el lecho marino el cual es alimento para los peces. De esta manera, el mercurio siendo una sustancia toxica entra en la cadena trófica poniendo en riesgo el equilibrio de los ecosistemas marinos y terrestres [3]. Sin embargo, el sector industrial no es el único culpable en términos de contaminación de la bahía, la minería ilegal también aporta a dicho problema debido que los residuos que produce viajan a través del río Magdalena, pasa por el Canal del Dique y llega a la bahía.

Por otro lado, los propios ciudadanos contribuyen en la contaminación de la bahía de Cartagena, la poca concientización de los ciudadanos respecto al problema de la contaminación ambiental y las pocas medidas de parte del estado para controlar la situación no han sido suficientes para controlarla.

El estado ha hecho campañas de concientización a los ciudadanos y los turistas para “educarlos y concientizarlos” sobre el problema de la contaminación y que una de las maneras para reducirla es no tirando basuras en las playas ya que esta, no solo afecta la propia salud de las personas sino también a la fauna marina.

Existen programas de recolección de basuras en la ciudad, pero sinceramente, de nada sirve recoger la basura un día si al siguiente están las mismas personas volviendo a tirar basura [4]. Hace falta la conciencia de pueblo para que junto al gobierno logren reducir y si es posible, acabar con el problema.

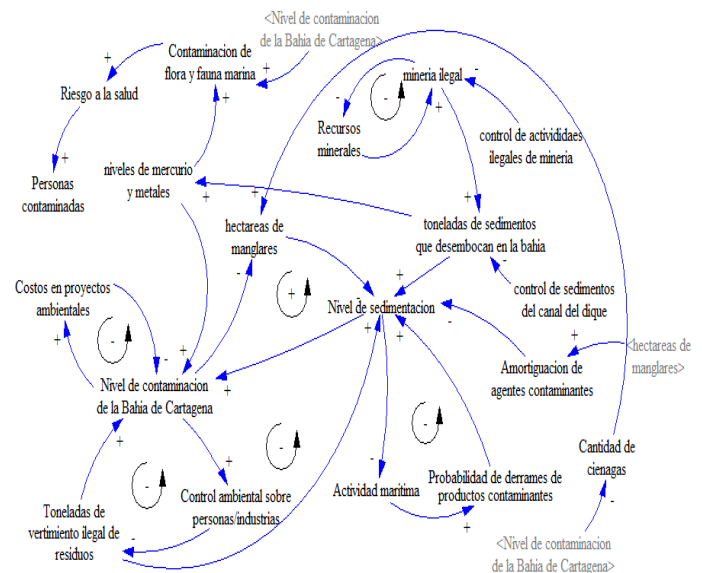
III. METODOLOGÍA

La contaminación en la Bahía de Cartagena es noticia que ha causado mucho impacto durante muchos años en nuestra ciudad, razón por la cual nuestro grupo se interesó en dicha situación y buscamos en distintos periódicos del país sobre lo que está pasando. Aquellas consultas nos hicieron dar cuenta de que el problema de la contaminación en la Bahía no es un problema reciente, sino que es una situación que lleva años dándose y que solo hace poco (en comparación al tiempo que presenta esta problemática) se le llegó a dar la importancia que merece.

Basados en las noticias anteriores identificamos varios elementos en que intervienen en la contaminación de la Bahía, como es el caso de la sedimentación y las basuras. Una vez identificados los elementos que influían en la contaminación nos preguntamos ¿Qué soluciones ha ofrecido el estado para controlar la situación?

Con base a lo aprendido en la asignatura Teoría General de Sistemas, realizamos un diagrama causal para determinar el origen del problema, este nos permite ver de una manera más apreciable el problema y nos ayuda a seguir un camino en torno a este. Con lo que hemos aprendido en la asignatura podemos analizar los distintos puntos de vista que hay entorno al problema y no quedarnos con la poca información que nos brindan las noticias.

IV. DIAGRAMA CAUSAL



[7] Diagrama de causal o de influencias hecho en Vensim.

V. RESULTADOS

Mediante la elaboración del diagrama causal del problema de contaminación de la bahía, se identificaron los siguientes elementos y ciclos:

A. Elementos

- **Actividad Marítima:** Se refiere a toda actividad cercana a la zona de la bahía como buques que puedan contener alguna carga que en caso de un posible derrame pueda poner en riesgo de contaminación a la bahía.
- **Probabilidad de derrames de productos contaminantes:** Está directamente relacionada con la actividad marítima, hace referencia al riesgo latente de derrames de cualquier producto contaminante que puede afectar a la bahía o sus alrededores.
- **Toneladas de vertimiento ilegal de residuos:** Se refiere a la cantidad de basura o residuos que son arrojados en la bahía o a sus alrededores por personas comunes o industrias.
- **Control ambiental sobre personas/industrias:** Se refiere al control de autoridades ambientales tengan en las personas e industrias sobre los desechos y agentes contaminantes que están arrojando a la bahía y sus alrededores.
- **Cantidad de ciénagas:** Se refieren a las ciénagas cercanas a la ciudad que actúan como filtros naturales de agua y reguladores de niveles de la misma.
- **Hectáreas de manglares:** Los manglares cercanos a la ciudad sirven como barrera protectora de las costas contra las olas y tormentas, de fijadores de sedimentos, recicladores de materia orgánica y refugio de vida silvestre.
- **Amortiguación de agentes contaminantes:** Está directamente relacionada con las funciones naturales de los manglares.
- **Control de sedimentos del canal del dique:** Políticas de control sobre la cantidad de sedimentos ubicados en el canal del dique.
- **Toneladas de sedimentos que desembocan en la bahía:** Está relacionada con el control de sedimentos provenientes del canal del dique.
- **Minería ilegal:** Se refiere a las actividades de minería ilegal ejercidas en zonas cercanas al canal del dique y que representan un riesgo de contaminación al agua, a la fauna y flora marina y a quienes realizan dichas actividades.
- **Recursos minerales:** Hace referencia a aquellos recursos minerales que pueden ser obtenidos de manera legal o ilegal.
- **Control de actividades ilegales de minería:** Políticas de control de las autoridades para reducir y prevenir los casos de minería ilegal.
- **Toneladas de sedimentos que desembocan en la bahía:** Se refiere a la cantidad de sedimento, agua contaminada y demás agentes contaminantes provenientes del canal del dique a causa de la minería ilegal, erosión, entre otros.
- **Niveles de mercurio y metales:** Está relacionado directamente con las toneladas de sedimentos provenientes del canal del dique.
- **Contaminación de flora y fauna marina:** Está relacionado con los niveles de contaminación del agua que afectan el buen estado de la flora y fauna marina, además de afectar también aquellos que viven de ella.
- **Nivel de sedimentación:** Se refiere al aumento de sólidos por efecto de la gravedad que entran en proceso de sedimentación en la bahía.

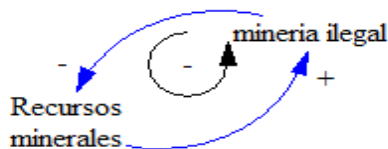
B. Ciclos

- **Costo en proyectos ambientales-Nivel de contaminación de la bahía de Cartagena:** Al aumentar la inversión en proyectos para controlar el problema de la contaminación de la bahía de Cartagena, los niveles de contaminación se reducirían debido a que habría un mayor control sobre la contaminación y haría que esta disminuyera, en el caso de que estos no funcionen y la contaminación aumente, habría que aumentar la inversión en estos proyectos para poder controlarla; este ciclo es negativo.



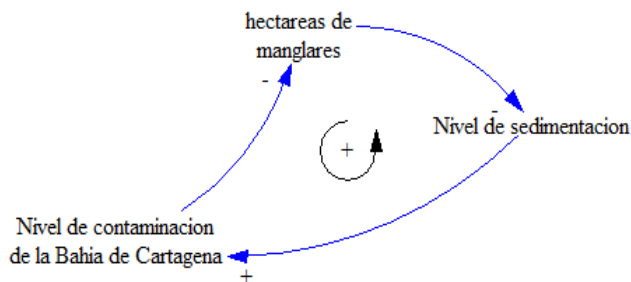
[7]Ciclo hecho en Vensim.

- **Recursos minerales-Minería ilegal:** Al aumentar los recursos minerales la minería ilegal aumentaría debido a que tendrían más materias primas que extraer de manera ilícita, en el caso de que la minería ilegal aumentase los recursos minerales se reducirían considerablemente hasta llegar a un punto de escasez debido a la sobreexplotación; este ciclo es negativo.



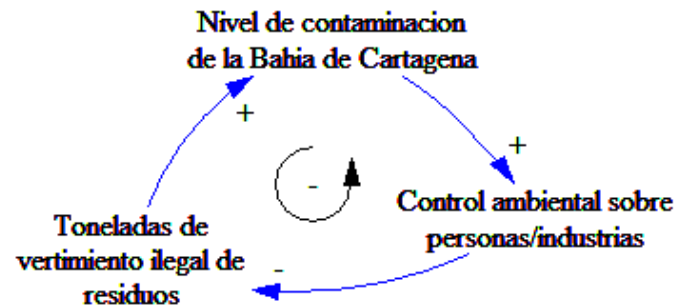
[7]Ciclo hecho en Vensim.

- **Hectáreas de manglares-Nivel de sedimentación-Nivel de contaminación de la bahía de Cartagena:** Al aumentar los niveles de sedimentación, aumentarían los niveles de contaminación y estos reducirían las hectáreas de manglares, pero si las hectáreas de manglares aumentaran, los niveles de sedimentación se reducirían, la contaminación en la bahía disminuiría ya que, las "zonas verdes" superarían a las "zonas sedimentadas"; este ciclo es positivo.



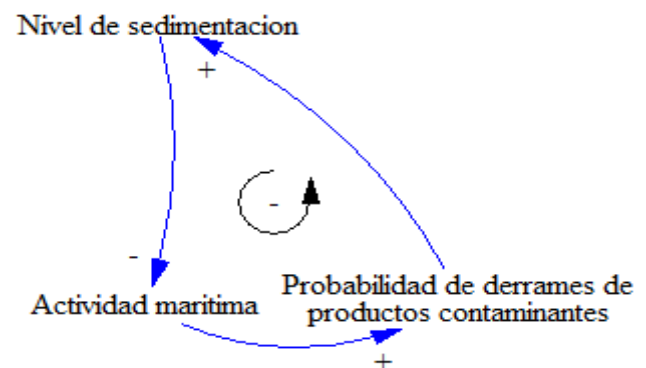
[7]Ciclo hecho en Vensim.

- **Nivel de contaminación de la bahía de Cartagena-Control ambiental sobre empresas/industrias-Toneladas de vertimiento ilegal de residuos:** Si la contaminación en la bahía aumenta, habría que aumentar los controles ambientales en las empresas para así reducir la cantidad de residuos dejados por estas en el mar de manera ilícita, al cumplirse lo anterior, daría como resultado una reducción en los niveles de contaminación en la bahía; este ciclo es positivo.



[7]Ciclo hecho en Vensim.

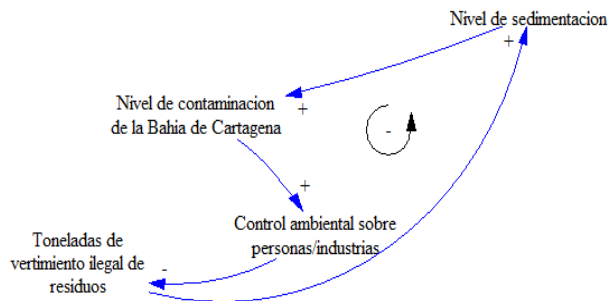
- **Nivel de sedimentación-Actividad marítima- Probabilidad de derrames de productos contaminantes:** La actividad marítima, además de "pescar", también puede aumentar la probabilidad de derrames de productos contaminantes los cuales, a su vez, aumentan los niveles de sedimentación lo cual dificulta la navegabilidad causando la disminución de la actividad marítima, ya que dichos agentes contaminantes no pueden flotar y terminan en el fondo del agua; este ciclo es negativo.



[7]Ciclo hecho en Vensim.

- **Nivel de sedimentación-Nivel de contaminación de la bahía de Cartagena-Control ambiental sobre empresas/industrias-Toneladas de vertimiento ilegal de residuos:** Al aumentar el nivel de sedimentación, el nivel de contaminación de la bahía aumenta causando que sean creadas medidas de control

ambiental sobre las empresas/industrias para así poder reducir las toneladas de vertimiento ilegal de residuos en el agua, los cuales son uno de los causantes de la sedimentación; este ciclo es negativo.



[7] Ciclo hecho en Vensim.

VI. CONCLUSIÓN Y REFLEXIONES FINALES

Podemos realizar la siguiente analogía: la contaminación de la Bahía de Cartagena es con una bomba que tiene una cuenta regresiva, el tiempo de la bomba se va agotando hasta que la cuenta llegue a cero y luego explote.

Con el paso del tiempo la bahía se va contaminando más y más, podemos detenernos a preguntar, ¿Quiénes son los culpables de toda esa contaminación que abunda en la bahía? ¿Los animales? ¿El agua? ¿La flora marina? Al destacar estos elementos, nos damos cuenta de lo ridículo que suena y descartamos inmediatamente a estos elementos como los culpables, entonces, ¿Qué otro elemento queda?

La respuesta es sencilla, el ser humano. En este caso, serían los habitantes de la ciudad de Cartagena que ya sea por desinformación o por desinterés en el problema han colaborado negativamente en este, empeorando la situación.

Gracias al diagrama causal realizado en torno al problema, nos damos cuenta que muchos de los causantes de la contaminación en la Bahía existen debido al ser humano; en el caso de la minería ilegal o en el caso de las actividades marítimas, quien realiza dichas actividades es el hombre y la existencia de dichas actividades desemboca en un aumento de los niveles de contaminación en la Bahía.

Es necesaria la realización de un control en la contaminación pero este debe ser estricto para lograr máxima efectividad. De lo contrario, el problema no será tomado en serio y no se reducirá en lo absoluto. Además, debemos darnos cuenta que este problema, que hoy parece solo un pequeño grano de arena dentro comparado con

las diversas situaciones que afectan al medio ambiente, tal vez esa pequeña basura que se arrojó hoy calle, puede ser el detonante de una problema medioambiental el día de mañana.

Hace falta que nosotros como sociedad nos concienticemos del problema para así poder contribuir a la solución y no a empeorarlo. Debemos comprender que la cantidad de problemas de contaminación afectan no solo a nuestra ciudad sino también al planeta entero, a pesar de no afectarnos directamente hoy el día de mañana, podríamos ser las víctimas del desastre ambiental al que hemos estado ignorando.

Al final, solo queda la siguiente pregunta ¿Las personas están dispuestas a ser soluciones o prefieren ser problemas?

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Barrera, “La bahía de Cartagena está bajo el fango”, El Tiempo, 2015 [Online]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15047238>. [Accessed: 18- Apr- 2017]
- [2] Redacción Estilo de Vida, “Aguas negras y descargas industriales acaban con la bahía de Cartagena”, El Tiempo, 2014 [Online]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14451784>. [Accessed: 18- Apr- 2017]
- [3] E. Martelo, “El Mercurio es solo la punta del Iceberg de la contaminación en la Bahía”, El Universal, 2016 [Online]. Available: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/elmercurio-es-solo-la-punta-del-iceberg-de-la-contaminacion-en-la-bahia-228714>. [Accessed: 20- Apr- 2017]
- [4] Redacción Cartagena, “Con un catamarán será recolectada la basura de la Bahía de Cartagena”, El universal, 2015 [Online]. Available: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/con-un-catamaran-sera-recolectada-la-basura-de-la-bahia-de-cartagena-197187>. [Accessed: 1- jun- 2017]
- [5] Caracol Cartagena, “Aumentan frecuencia de recolección de basuras en Cartagena y Zona Insular”, Caracol, 2017 [Online]. Available: http://caracol.com.co/emisora/2017/04/09/cartagena/1491758339_922040.html. [Accessed: 1- jun- 2017]
- [6] M. Meza, “Basic revela la realidad de la Bahía de Cartagena”, El Universal, 2017 [Online]. Available: [http://Basic revela la realidad de la Bahía de Cartagena](http://Basic%20revela%20la%20realidad%20de%20la%20Bahia%20de%20Cartagena). [Accessed: 25- Jun- 2017]

Mechanism for Promoting Motivation, Confidence and Autonomy Through Synchronic Communication Sessions in Virtual Learning Environments.

J. A. Parra, A. R. Lizcano, E. Pineda

Abstract— This paper presents a mechanism which explains the effect of synchronous communication on student perception about the training process in postgraduate virtual methodology. We use System Dynamics to design a mechanism which integrates motivation, confidence, trust, and autonomy in students. The results suggest this mechanism explains why teachers should interact with students to promote motivation.

Palabras Clave — *Mechanism, Motivation, Teacher Immediacy*.

I. INTRODUCTION

VIRTUAL learning methodologies in the master programmes in management of educational technology are based on a pedagogical model based on self-regulated and meaningful learning. Students and teachers interact through computer mediated communication. This interaction, developed by teachers, is done through synchronous communication. In addition, the context in which the virtual training process is developed is characterized by the fact that the students are digital immigrants. This may cause students to feel inhibited and distrustful about the use of Information and Communication Technologies (ICT) to establish communication with their teacher. If the teacher does not use clear guidelines to guide the proper management of communication mediated by ICT with the student, he could perceive that he is alone in his formative process. This paper presents how teacher immediacy promotes in students confidence, trust, and autonomous learning through ICT communication. Authors such as [1] propose a concept of perception which refers to the process of social communication and its impact on the formation of knowledge, attitudes and expectations of the members of a group. On the other hand, authors such as [2] establish that computer-mediated communication defines the ways in which communication technologies have created a new scenario of tools to support human communication. Some authors, according to [3], prefer to speak of electronic discourse (ED) and not of computer mediated communication (CMC), because the first expression focuses more closely about the linguistic nature of the exchange more than the medium or the channel by which messages are transmitted. In this way, we claim synchronous electronic speech (SES), which corresponds to real-time conferences is an spontaneous but written conversation. We are interested in the study of chats and video-conference as means

which impact the understanding and even meta-cognitive in the exchange of knowledge. Authors suggest the main elements that appear in the communicative process are an emitter, a message and a receiver [4] and the three fundamental dimensions or links which define and / or determine the communicative process are the human component, the instrumental component and the psychological component. This paper aims to evaluate the impact of synchronous communication on the perception of students of a postgraduate program, in order to establish the effectiveness of synchronous teacher-student communication, in the context of the virtual methodology.

General Objective: To evaluate the effect of synchronous communication on the student perception of the formative process for the improvement of the understanding of the pedagogical model of the virtual methodology and the use of communication resources.

Specific Objectives:

To identify the dimensions of the communicative act mediated by computer and the dimensions of perception of this act by the students involved in the virtual training processes, through a literature review.

To develop instruments that allow the measurement of synchronic communicative dimensions through video conference and the effect on the perception of postgraduate students in virtual methodology.

To analyze the effect that the synchronous communication has on student perception about the formative process, from the dimensions of the communicative act applied to students of the masters in management of educational technology.

To design a proposal for an ICT-mediated communication model that specifies the dimensions of communication and student perception for the training process in virtual methodology programs.

II. LITERATURE REVIEW

System Dynamics is used globally for developing simulation tools which support the design of strategies characterized by dynamic complexity. Because of the strategic nature and the advantage of having these tools, we do not find a lot of reports about its use.

We perform a Literature Review on Scopus (March 18th, 2017) using as a keywords: synchronic communication, perception. We selected the most relevant results to specify the research area. Table 1 presents the main findings.

As a conclusion, we claim there is an opportunity of research about mechanisms which explain how perception teacher support can promote trust, confidence and self leaning in Students of Postgraduate Programs.

Source	Problem	Method	ICT Tool	Conclusion	Number of citations
[5]	Discrete Events, Agents, PASION Simulation system.	How structure promotes Insurgency, and Anti-terrorist activities	Violence between Insurgency and Anti-terrorist.	No	No
[6]	System Dynamics	Design of buildings for resisting terrorist attacks.	Bio-terrorist Attacks against Buildings	No	No
[7]	Causal Diagrams	Dynamics of Political Terrorism	Political objectives and terrorism.	No	No

Table 1. Literature Review.

III. METHOD

We used System Dynamics to design a mechanism to explain how teacher immediacy can promote confidence, trust, and autonomy in students of a postgraduate program. We performed the following steps:

- We defined the elements of the mechanism and its expected behavior.
- We found relationships in the Literature among the elements of the mechanism.
- We designed the working dynamic hypothesis.
- We designed the simulation model.
- We developed simulation experiments.
- We concluded about the dynamic implications of the mechanism.

IV. RESULTS

We developed a working dynamic hypothesis which integrates Teacher Immediacy, Student Motivation, Confidence and Trust, and Student Autonomous Learning. This variables configure a Reinforce Feedback Loop. This is presented in Figure 1.

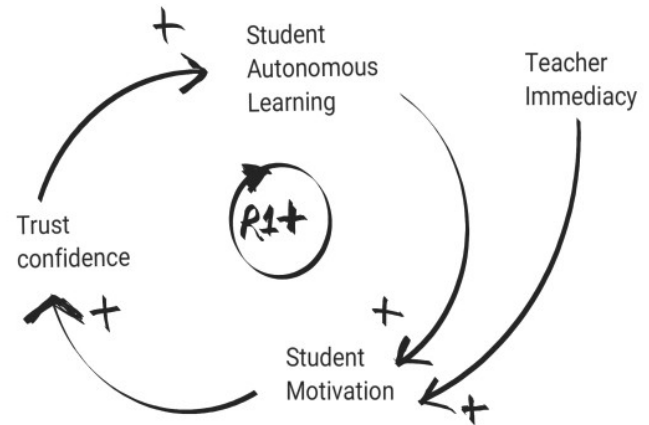


Figure 1. Working Dynamic Hypothesis.

As System Dynamics Theory [8] and Institutional Design Theory [9] are prescribed, this mechanism has path dependency.

We designed a Diagram of Forrester for our mechanism. This is presented in Figure 2. We used 3 differential equations to represent how Teacher Immediacy promotes Student Motivation, Trust Confidence, and Student Autonomous Learning, which reinforces Student Motivation.

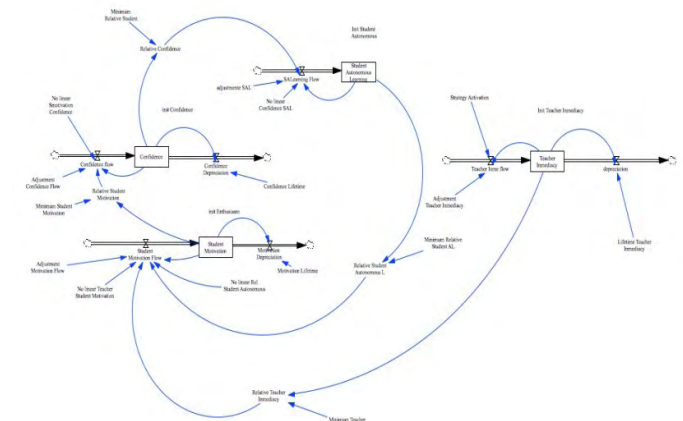


Figure 2. Forrester Diagram.

We tested our mechanism using Vensim. We tested the model using no Teacher Immediacy. As expected, we did not promote Motivation, Trust, Confidence, and Autonomous Learning. Next, we active Teacher Immediacy. As a result, Motivation, Trust, and Autonomous Learning is promoted as shown in Figure 3. In the model, we activate Teacher Immediacy, as shown in Figure 4. The mechanism promotes motivation, trust, confidence, and auto-

mous learning as we present in the following Figures. Figure 5 presents Motivation increasing as a consequence of the activation of Teacher Immediacy. Autonomous Learning is presented in Figure 6. We can appreciate how this variable is increasing as a result of Motivation.

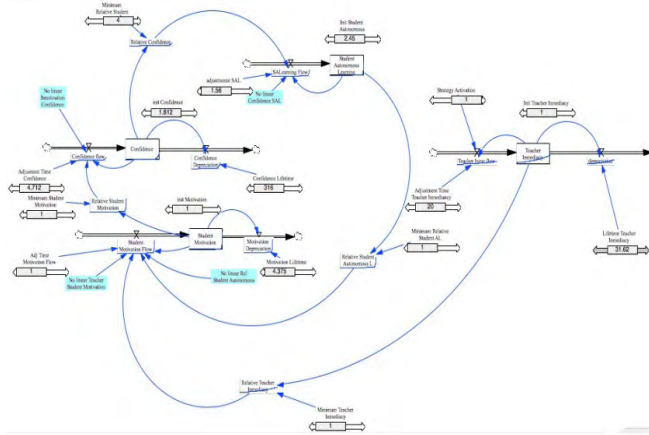


Figure 3. Simulation Model in Vensim

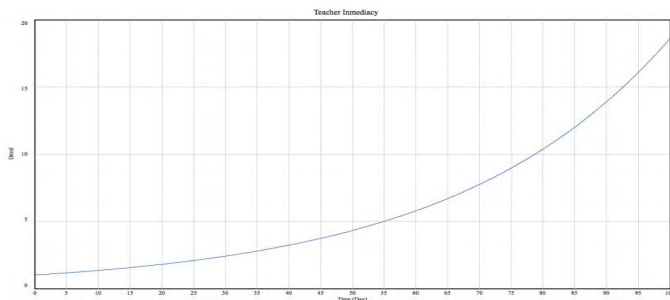


Figure 4. Simulation of Teacher Immediacy

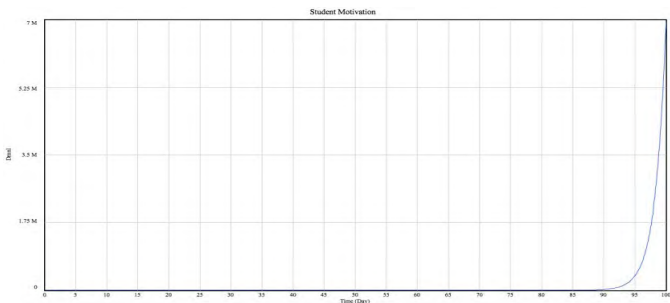


Figure 5. Simulation of Motivation

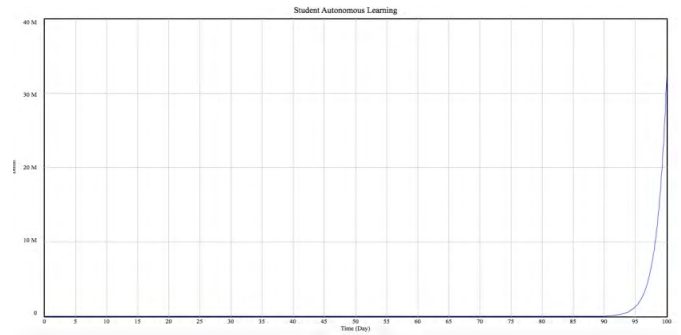


Figure 6. Simulation of Motivation

V. CONCLUSION

We proposed a mechanism to explain how Teacher Immediacy promotes Motivation. This is important because we understand know why is important to interact with students if we want to promote Motivation, Trust, and Autonomous Learning.

VI. ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank the University of Santander - UDES.

VII. REFERENCIAS

- [1] Polino, C., M. E. Fazio, and L. S. Vaccarezza, Medir la percepción pública de la ciencia en los países iberoamericanos: aproximación a problemas conceptuales. CTS+ I: Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación (5), 1. 2003.
- [2] Freeman, H., D. Patel, T. Routen, S. Ryan, and B. Scott, "The virtual university: The internet and resource-based learning. Routledge." 2013.
- [3] Constantino, G. D, "Discurso didáctico electrónico: los modos de interacción discursiva en el aula virtual en contraste con el aula presencial." Linguagem em (Dis) curso 6 (2), 241-268. 2010.
- [4] Lores, D. N., F. V. P. Beltrán, et al, "Carácter tridimensional del proceso comunicativo." Contribuciones a las Ciencias Sociales (2012-03), 2012.
- [5] De Lucia, A., R. Francese, I. Passero, and G. Tortora, "Development and evaluation of a virtual campus on second life: The case of secondm" Computers and Education 52(1), 220{233. cited By 174. 2009.
- [6] Boulos, M. C., A. Taylor, and A. Breton, "A synchronous communication experiment within an online distance learning program: A case study." Telemedicine Journal and e-Health 11 (5),

583{593. cited By 25. 2005.

[7] Pilkington, R, “Reflecting on roles: Using synchronous cmc to develop a knowledge-building community amongst postgraduates.” International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning 13 (3-4), 318{335. cited By 6. 2003

[8] Sterman, J. D, “Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.” Number HD30. 2 S7835. 2000

[9] Parra Valencia, J. A. “Managing Cooperation for Solving Large-Scale Social Dilemmas: A Systems Approach.” LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012.

VIII. Autores



Jorge Andrick Parra Valencia recibido en los grados de Ingeniería de Sistemas y Maestría en informática de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia en los años 1997 y 2004 respectivamente; es Doctor en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, 2010 Sus intereses actuales se concentran en la investigación en el área de pensamiento sistémico, recursos comunes y modelado con dinámica de sistemas y en el ejercicio de la enseñanza de la misma. Actualmente es docente de planta de la UNAB.



Adriana Rocío Lizcano Dallos recibida en el grado de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia en los años 2000, es Magíster en Tecnologías de la Información aplicadas a la Educación de UPN, 2012 y Magíster en Gestión, Aplicación y Desarrollo de software de la UNAB 2013. Sus intereses actuales se concentran en la investigación en el área de aplicación de TI a la educación Actualmente es docente de planta de la UIS.



Eliécer Pineda Ballesteros recibido en los grados de Ingeniería de Sistemas y Economía de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia en los años 2000 y 2005 respectivamente; es Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Cooperativa de Colombia, 2007 y Magíster en Informática de la UIS, 2007. Sus intereses actuales se concentran en la investigación en el área de modelado con dinámica de sistemas y en el ejercicio de la enseñanza de la misma. Actualmente es docente de planta de la UNAD.

Criterios para la evaluación del aprendizaje en un curso introductorio de Dinámica de Sistemas

Criteria for the evaluation of learning in an introductory course of System Dynamics

Luciano GALLÓN
Universidad Pontificia Bolivariana
luciano.gallon@upb.edu.co

Abstract— The teaching of System Dynamics (SD) involves the challenge of designing a curriculum whose instructional processes allow a student to understand what systemic thinking is and what simulation is. But understanding is not enough. The student must assimilate that the SD is the sum of the two concepts and that only when it begins to simulate is that it has begun to apply in a concrete way the System Dynamics and to learn it. This paper presents the author's experience in the conception, design and execution of an introductory course on the subject, which identifies the evaluation and qualification criteria that have been consolidated throughout a classroom experience of over three years.

Keywords—. System Thinking Learning, Simulation Learning, System Dynamics Learning, Evaluation Criteria

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se comprende que los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Dinámica de Sistemas (DS) se basan en dilucidar que este saber es la suma de Pensamiento Sistémico y Simulación [1], aparece un conjunto de retos para el docente como diseñador de mecanismos que habiliten el desarrollo de habilidades y competencias teóricas y prácticas al respecto.

El primer reto está en el asunto del pensamiento sistémico: qué es, qué no es, qué elementos lo componen, cómo se aproxima una persona a él, qué nuevas formas de pensar debe desarrollar, cómo las debe expresar en su discurso, etc.

El segundo reto está en el asunto de la simulación, también es necesarios aquí hacer preguntas como: qué es, qué no es, qué herramientas permiten hacerla, qué elementos la componen, qué dificultades de aprendizaje conlleva, etc.

Un tercer reto está en aprender a localizar y contextualizar diferentes paradigmas de simulación como asunto práctico a la hora de abordar la DS como herramienta para el apoyo en la solución de problemas.

Finalmente, el cuarto reto: qué criterios seleccionar y aplicar a la hora de evaluar esos aprendizajes en un curso introductorio.

Este trabajo es el resultado de la investigación sobre el trabajo docente del autor liderando el curso Dinámica de Sistemas 1 (DS1) en el sistema de Posgrados de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), en Medellín, Colombia, en los últimos tres años (2014-2017). Se trata de un curso que se sirve para los posgrados: Especialización en Gestión de la Innovación Tecnológica, Maestría en Gestión Tecnológica, Doctorado en Gestión de la Tecnología y la Innovación, Doctorado en Ingeniería y Doctorado en Ciencias Sociales, y en el que han participado más de setenta estudiantes en el período analizado.

El lector encontrará estos apartados en este trabajo: *Generalidades del curso*, en el que se hace una descripción detallada del diseño instruccional del curso DS1, su duración, contenido, temáticas, actividades, etc.; *Diseño de la Evaluación*, en el que se hace una descripción detallada de la evaluación que se despliega en el curso, los esfuerzos que debe realizar el estudiante, formas de entrega e interacción, y paso a paso en el desarrollo de competencias; *Criterios de Evaluación*, en donde se hace un primer inventario de los criterios que ha desarrollado el autor desde la experiencia en el aula para determinar qué da resultados positivos, y qué no, a la hora de evaluar y calificar el aprendizaje y, finalmente, *Conclusiones*, a modo de cierre de esta primera presentación en comunidad de este trabajo y apertura al trabajo futuro que se vislumbra, máxime, teniendo presente que ya están siendo ofertados también los cursos de Dinámica de Sistemas 2 y 3, DS2 y DS3, respectivamente.

II. GENERALIDADES DEL CURSO

El curso se denomina Dinámica de Sistemas 1 (DS1) y se ha diseñado dividido en doce componentes:

- Observar desde lejos
- Comportamiento contra intuitivo [2]

- Pensar en Dinámica de Sistemas
- Herramientas 1de2
- Herramientas 2de2
- Modelar y Simular 1de4 - Describir el Sistema
- Primer encuentro con la realidad
- Modelar y Simular 2de4 - Escribir el Modelo
- Modelar y Simular 3de4 - Simular y Calibrar
- Modelar y Simular 4de4 - Escenarios
- Segundo encuentro con la realidad
- Dinámicas de Sistema

El curso está pensado para ser desarrollado en un rango de dos a cuatro créditos, que en la modalidad presencial conlleva 24 horas de clase en doce lecciones de dos horas cada una, o 48 horas de clase en doce lecciones de cuatro horas cada una, respectivamente. La diferencia radica en la duración del trabajo práctico en los talleres de clase. La modalidad virtual conlleva el desarrollo de doce lecciones con unos cuatro encuentros sincrónicos de docencia y dos de entrega de actividades.

El curso se orienta a partir de estos siete temas/preguntas:

- ¿Qué es la DS?
- ¿Para qué sirve la DS?
- ¿Qué estudia la DS?
- ¿Cuál es la historia de la DS? [3]
- ¿Qué herramientas se usan en la DS?
- ¿Qué me aporta la DS?
- ¿Qué le puedo aportar a la DS?

El curso cuenta con ocho actividades de *Presentación del Docente*, diez actividades de *Leer, Escribir y Conversar*, cinco de *Modelo y Simulación* y dos de *Presentación oral* de resultados, para un total de 25 actividades, a saber:

- A01 ¿Qué te gustaría aprender y hacer en este curso? A02 Estilos de Aprendizaje
- A03 Competencias en inglés
- A04 ¿Qué opinas de los resultados? A05 Leer, Escribir y Conversar A06 Leer, Escribir y Conversar
- A07 Presentación: Pensar en Dinámica de Sistemas A08 Leer, Escribir y Conversar
- A09 Vigilancia - Software Dinámica Sistemas A10 Presentación: Herramientas 1de2
- A11 Modelar y Simular - Insightmaker A12 Presentación: Herramientas 2de2 A13 Modelar y Simular - Vensim
- A14 Presentación: Modelar y Simular 1de4 A15 Modelo 1de4 - Círculo de Conexiones [4]
- A16 Modelo 1de4 - Conceptualización A17 Presentaciones de los estudiantes

- A18 Presentación: Modelar y Simular 2de4 A19 Modelo 2de4 - Escribir el Modelo A20 Presentación: Modelar y Simular 3de4 A21 Modelo 3de4 - Simular y Calibrar A22 Presentación: Modelar y Simular 4de4 A23 Modelo 4de4 - Escenarios
- A24 Presentaciones de los estudiantes A25 Presentación: Dinámica de Sistemas

Todo el diseño instruccional expuesto está orientado por estos criterios curriculares:

- Que el Problema que trabaja el estudiante se conciba como objeto de la realidad que se pretende observar, intervenir y transformar.
- Que el concepto de Sistema se conciba como objeto de una perspectiva de observación de la realidad [5] [6].
- Que se comprenda la importancia de las escalas espacio temporales como elementos fundamentales para ampliar la capacidad de observación y de descripción de los problemas que se identifiquen en la realidad [7] [8].
- Que la experiencia del curso sea para aprender DS como metodología de aproximación sistémica a los problemas de la realidad, no para resolver un problema particular de interés del estudiante.

III. DISEÑO DE LA EVALUACIÓN

El diseño de la evaluación de la experiencia de enseñanza y aprendizaje del curso DS1 se fundamenta en las siguientes seis condiciones:

- *Declarada*. Es decir, es explícita, pública, manifiesta y clara.
- *Individual*. Es decir, cada estudiante tiene un carácter particular e independiente dentro del colectivo que es sólo de él y para él.
- *Colectiva*. Es decir, tiene la virtud de recoger, reunir, agregar, las expresiones individuales para conformar una expresión conjunta.
- *Interactiva*. Es decir, permite la comunicación y la acción recíproca entre los participantes.
- *Progresiva*. Es decir, que avanza y aumenta gradualmente durante el despliegue instruccional.
- *Rumiante*. Es decir, que permite volver a hacer una actividad para corregir los errores cometidos.

Con base en las condiciones expuestas se diseña esta estructura evaluativa conformada por tres componentes:

- *Leer, Escribir y Conversar*, con un peso del 40% y calcula-

da como el promedio simple de diez actividades.

- *Modelo y Simulación*, con un peso de 40% y calculada como el promedio simple de cinco actividades.
- *Presentaciones*, con un peso del 20% y calculada como el promedio simple de dos actividades.

IV. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Los criterios para la evaluación y la calificación de las diferentes actividades del curso se han construido a partir de diferentes autores como [9] y [10]. Sin embargo, se han refinado y consolidado, fundamentalmente, con base en la experiencia en el aula.

La evaluación cuenta con tres criterios generales de referencia que aplican para todas las actividades, y con criterios particulares que aplican dependiendo del tipo de actividad.

Los criterios generales son:

- *Reglas de Oro*. Buenas prácticas para la escritura y presentación, tanto de textos como de presentaciones. Aplica en general para cualquier tipo de documento que genere un estudiante e incluye el modelo. Se trata de un documento de tres páginas que contiene, de manera simple y clara, el listado de buenas prácticas que deben seguir, adoptar y aplicar los estudiantes.
- *Participación*. En todas y cada una de las actividades se debe participar, tanto con el aporte individual como con el colectivo, de acuerdo con las instrucciones respectivas dadas en la rúbrica relacionada.
- *Cumplimiento*. En todas y cada una de las actividades se debe cumplir, tanto en el aporte individual como en el colectivo, de acuerdo con las instrucciones respectivas dadas en la rúbrica. El cumplimiento incluye tanto la oportunidad de la entrega como la superación de los mínimos necesarios según la escala de referencia en la calificación.

Los criterios particulares, como se indicó antes, son relativos a cada tipo de actividad.

Algunas de ellas se diseñan con el único propósito de garantizar la participación del estudiante y aseguran, a modo de evidencia, que se ha completado una actividad. Por lo tanto, no implican la evaluación o calificación del contenido, más sí la existencia de algún elemento particular.

Otras, en particular las cinco actividades de Modelo y Simulación se diseñan para que cada estudiante desarrolle la metodología de la DS y tenga de manera clara y concisa la posibilidad de contar con una lista de revisión de lo que va haciendo previo a cada entre-

ga para la evaluación y calificación del docente. En este caso los criterios particulares se le presentan al estudiante desde antes de empezar las actividades mediante una tabla maestra de referencia para la evaluación y la calificación. Se llega, incluso, a indicarle a los estudiantes en cuáles de los criterios será que cometerá errores que deberá corregir posteriormente (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Tabla de Evaluación

(A) Modelado 1de4 - Describir el Sistema (Promedio (A1) y (A2))
(A1) Círculo de Conexiones (%)
Determinar cuál es el problema
Determinar qué es lo que cambia
Determinar cómo cambia
Seleccionar elementos que contribuyen al problema
Hacer el diagrama de Círculo de Conexiones
Hacer conexiones de causa-efecto
Determinar lazos de retroalimentación
Contar la historia de los lazos de retroalimentación
(A2) Conceptualización (%)
Identificar el área del problema
Determinar el propósito del modelo
Definir la audiencia
Clasificar elementos en endógenos y exógenos
Determinar los elementos que son Nivel o Flujo
Determinar modos de referencia
Determinar la hipótesis dinámica
(B) Modelado 2de4 - Escribir el Modelo (%)
Vista de Presentación
Define apropiadamente el período de simulación
Tiene al menos un Stock (Level)
Tiene al menos un Flow
Tiene al menos un Link
No tiene Stock aislados (No conectados, al menos, a un Flow)
No tiene Flow aislados (No conectados al menos, a un Link)
Uso de gráficos o tablas para mostrar resultado
El modelo simula sin errores
(C) Modelado 3de4 - Simular y Calibrar (Promedio (C1) y (C2))
(C1) System Dynamics Model - Basic Checklist (%)
Vista de Presentación
Define apropiadamente el período de simulación
Tiene al menos un Stock (Level)
Tiene al menos un Flow
Tiene al menos un Link
No tiene Stock aislados (No conectados, al menos, a un Flow)
No tiene Flow aislados (No conectados al menos, a un Link)
Uso de gráficos o tablas para mostrar resultado
El modelo simula sin errores

(C2) System Dynamics Model - Correctness Checklist [10] (%)
Naming variables
No constants embedded in equations
Choose appropriately small time steps
Stock values can be changed only by flows
Every flow should be connected to a stock
Flows should not be linked to auxiliary variables or to other flows
Stocks should not be linked to stocks
Not using IF THEN ELSE, MIN/MAX and other logic statements
Use of Initial Values variables
Curving connectors
(D) Modelado 4de4 - Escenarios (%)
El modelo tiene al menos tres escenarios (Positivo, Neutral, Negativo)
Cada escenario está documentado
En una misma gráfica se pueden estudiar los resultados de la simulación de los tres escenarios

Finalmente están las actividades de presentación, una de las cuales se realiza hacia el final del primer tercio del curso y la otra al final. En estos casos, además de los criterios generales de evaluación expuestos, se evalúa y califica con base en criterios de apropiación y aplicación profesional de un discurso enriquecido con elementos del pensamiento sistémico y la simulación.

V. CONCLUSIONES

La DS es un campo del conocimiento teórico y práctico que se configura a partir de la suma del Pensamiento Sistémico y la Simulación. Sin embargo, es sólo hasta que se simula que se ha empezado a aprender sobre DS. De ahí que un curso introductorio al tema tiene que responder a este reto garantizando que los estudiantes comprenden que deben superar las metodologías del pensamiento sistémico y dar el salto que agrega la simulación a sus procesos de pensamiento y reflexión.

En el despliegue instruccional de un curso introductorio de DS se deben tener en cuenta las características del pensamiento espontáneo humano: reactivas, lineales, a corto plazo y alejadas de la reflexión sobre retroalimentación y retardos, entre otras. Es por eso por lo que la experiencia de aprendizaje, y su evaluación y calificación, debe basarse en el clic que ocurre en los procesos mentales de los estudiantes al momento de simular.

Los criterios de evaluación y calificación expuestos en este trabajo fortalecen la idea de que, para un curso introductorio a la temática, se puede utilizar una aproximación a la DS entendida como proceso personal al que un estudiante puede llegar por una experiencia de aprendizaje apropiadamente diseñada y conducida.

De la experiencia en el aula, y como se expuso en los criterios particulares de evaluación, el que los estudiantes comentan errores,

aunque les sean anunciados con anticipación teniendo en cuenta la lista de revisión, es una oportunidad adicional de exploración para esta investigación en marcha sobre la enseñanza de la Dinámica de Sistemas.

Finalmente, y a modo de testimonio sobre la experiencia de aprendizaje de los 74 estudiantes en el curso DS1 (46 Hombres, 28 Mujeres, 3 de Especialización, 37 de Maestría en Investigación y 34 de Doctorado), se presentan nubes de palabras significativas del análisis de las respuestas a las preguntas ¿Qué me aporta la DS? (Ver Figura 1) y ¿Qué le puedo aportar a la DS? (Ver Figura 2).



Figura 1. Nube de Palabras del análisis de las respuestas a la pregunta: ¿Qué me aporta la DS?



Figura 2. Nube de Palabras del análisis de las respuestas a la pregunta: ¿Qué le puedo aportar a la DS?

VI. REFERENCIAS

- [1] J. W. Forrester, "System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR," vol. 10, no. 2, pp. 1–14, 1992.
- [2] J. W. Forrester, "Counterintuitive behavior of social systems," *Technol. Rev.*, vol. 73, no. 3, pp. 52–68, 1971.
- [3] J. W. Forrester, "The Beginning of System Dynamics," in *International Meeting of the System Dynamics Society*, 1989, p. 16.
- [4] R. Quaden, A. Ticotsky, and D. Lyneis, "Lesson 10:

- Do You Want Fries With That? Learning about Connection Circles,” in *The Shape of Change*, Acton: Creative Learning Exchange, 2008.
- [5] B. Richmond, “Systems thinking critical thinking skills for the 1990s and beyond,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 9, no. 2, pp. 113–133, 1993.
 - [6] G. Bellinger, “Archetypes - Interaction Structures of the Universe,” *Systems Thinking*, 2004. [Online]. Available: <http://www.systems-thinking.org/arch/arch.htm>. [Accessed: 18-May- 2015].
 - [7] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III, *The Limits to growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books, 1972.
 - [8] L. Gallón, “Space and time scales of human perspective and sustainability: tools for modeling daily life dynamics,” 2009.
 - [9] J. W. Forrester, “System Dynamics - The next fifty years,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 23, no. 2, pp. 359–370, 2007.
 - [10] D. Lai and R. Wahba, “System Dynamics Model Correctness Checklist.” Massachusetts Institute of Technology, p. 2, 2001.

VII. Autor



Luciano GALLÓN, PhD. (IEEE SM'06) Profesor Titular Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Pontificia Bolivariana en Medellín, Colombia. Doctor en Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC, 2012) en Barcelona, España. Magíster en Gestión Tecnológica e Ingeniero Electrónico por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB, 2004, 1993) en Medellín, Colombia. Entre los intereses de investigación se encuentran la Dinámica de Sistemas, la Sociocibernética, la Sostenibilidad y la Singularidad. Miembro de: IEEE; IEEE *Technology and Engineering Management Society*; IEEE *Systems, Man, and Cybernetics Society*; *International Sociological Association* (ISA); ISA *Research Committee 51 on Sociocybernetics* y *System Dynamics Society*.

Evaluación Con Dinámica De Sistemas Del Efecto A Largo Plazo Del Transporte De Bogotá D.C.

I. Dyner, D. Ospina, S. Zapata, A.J. Aristizabal,
J.S. García, N. Escalante, C.I. Pardo, W. Alfonso

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN Actualmente el sector transporte de Bogotá D.C., Colombia, requiere de estudios para analizar el comportamiento del consumo energético por la necesidad que tiene la población de desplazarse a sus actividades diarias. Este artículo se basa en el trabajo “Simulación del metabolismo de Bogotá para su desarrollo sostenible” (Dyner y otros, 2016), para evaluar, mediante dinámica de sistemas, el consumo de las diferentes modalidades de transporte y las emisiones asociadas al uso de combustibles como lo son la gasolina, diesel y gas natural en escenarios con políticas ambientales o desarrollo urbano.

Palabras clave: Consumo energético, Emisiones GEI, Transporte

I. INTRODUCCIÓN

Naciones Unidas estima que la población mundial pasará de casi 7.000 millones de personas a 9.100 millones para el año 2050 (Pasquevich, 2014). El crecimiento poblacional influye en la demanda energética, un ejemplo, es la energía que se requiere para el transporte, muchas personas se trasladan a diario largas distancias para concurrir a sus trabajos u oficinas distantes de sus domicilios. Mayo población significa mayor consumo de combustibles para cubrir la distancia en kilómetros de los desplazamientos (Pasquevich, 2014).

Tecnológicamente el parque automotor de Colombia depende de hidrocarburos como la gasolina, el diesel y el gas natural, esto de acuerdo con la información del Balance Energético Nacional, en el año 2012, donde el país consumió cerca de mil PetaJulios de energía final, de los cuales aproximadamente el 67% correspondía al consumo de fuentes fósiles (carbón, petróleo y sus derivados), 13% a biomasa y un 20% correspondiente al consumo de energía eléctrica (Unidad de Planeación Minero Energética, 2013).

La razón, volumen de combustible por kilómetro recorrido, es usada para cuantificar la eficiencia del consumo del sector transporte

y por cada unidad de gasolina, diesel o gas natural consumida para generar energía, se tiene asociado un factor de emisiones en toneladas de dióxido de carbono, por eso la movilidad en una ciudad es una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero, siendo responsable del 23% de las emisiones de CO₂ en el mundo (IEA. 2011).

Alcanzar la eficiencia energética en el transporte significa reducir consumo y emisiones aunque el parque automotor y la ciudad crezcan. Las estrategias de desarrollo urbano son la forma de contribuir en la evolución de una ciudad hacia la sostenibilidad (K'Akumu, 2007).

La metodología de este estudio cubre los parámetros necesarios para evaluar el consumo y emisiones del sector transporte en Bogotá D.C y tiene como base un modelamiento matemático aplicado con dinámica de sistemas y el uso del software VENSIM PLE 6.4 donde se realizan simulaciones del sector. Este artículo está organizado de la siguiente manera; en la sección 2 se describen los escenarios propuestos para la evaluación a largo plazo del modelo. En la tercera sección se establecen parámetros de simulación para la validación del modelo. La sección 4 enmarca los resultados del modelo en cuanto a simulación del crecimiento de vehículos particulares, el consumo de energía y las emisiones del sector transporte en la ciudad.

II. DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

Durante el desarrollo del estudio “Simulación del metabolismo de Bogotá para su desarrollo sostenible”, base del modelo del presente estudio, 4 escenarios fueron propuestos con el fin de evaluar el desarrollo de la ciudad bajo diferentes indicadores. Los cuatro (4) se muestran en la Figura (1), sin embargo, se considera el escenario cero (0) en el cual se muestra el estado inicial del sistema en el modelo o Business As Usual (BAU). El escenario número 1 se consideró un 55% de urbanización y un 45% de áreas públicas y zonas verdes, además de 5 líneas de metro, tres principales y dos transversales.

En el escenario numero 2 prima la política de desarrollo urbano en el cual se consideró 80% de urbanización y un 20% de áreas públicas y zonas verdes y solo una línea de metro. En el escenario número 3 prima la política ambiental por esto solo un 30% se urbaniza y un 70% se delimita para áreas públicas y zonas verdes y se considera la movilidad eléctrica. El escenario número 4 se muestra una urbanización del 90% de la ciudad dejando sólo un 10% de espacio público y zonas verdes (Dyner, y otros, 2016).



Figura (1). Descripción de escenarios (Dyner, y otros, 2016).

III. VALIDACIÓN

Los modelos de Dinámica de Sistemas (DS) proporcionan una representación estilizada de las características dinámicas inherentes a sistemas complejos, tales modelos apuntan a apoyar el proceso de decisión y diseñar estrategias (Sterman, 2000). El proceso de validación del modelo de DS es necesario para construir confianza en el modelo de simulación, la validez del modelo se confiere después de aplicar una metodología estricta que incluye pruebas estructurales y de comportamiento (Barlas Y, 1996; Quadrat-Ullah y Seong, 2010). La estructura del modelo y las ecuaciones fueron discutidas con los expertos, cada ecuación matemática fue verificada para asegurar la consistencia dimensional, los parámetros utilizados en el modelo corresponden al sistema real (ver en la Tabla 1 los principales parámetros y valores).

Parameter	Value	Untis
Initial Population	6.840.120	People
Initial vehicles	698.893	Vehicle
Vehicle life time	25	Years
Avg gasoline motorcycle fuel efficiency	4/100	L/Km
Avg gasoline vehicle fuel efficiency	11/100	L/Km
Avg diesel vehicle fuel efficiency	9,8/100	L/Km
Avg natural gas vehicle fuel efficiency	11/100*1000	m3/km
Avg diesel BRT fuel efficiency	35/100	L/Km
Avg diesel collective fuel efficiency	25/100	L/Km
Avg gasoline Taxi fuel efficiency	9/100	L/Km
Avg natural gas Taxi fuel efficiency	11/100*1000	m3/Km
Gasoline emission factor	69,25/1000	TCO2/GJ
Diesel emission factor	74,01/1000	TCO2/GJ
Natural gas emission factor	56,1/1000	TCO2/GJ

Tabla 1. Principales parámetros utilizados en el modelo de simulación.

IV. RESULTADOS

Los resultados de la simulación de número de vehículos, consumo de energía y cantidad de emisiones son descritos a continuación para una línea de tiempo entre 2.005 y 2.050. El modelo de transporte es influido en los escenarios donde se consideran líneas de metro el cual, en el modelo, inicia operaciones en el año 2.020.

A. Simulación de vehículos

El modelo DS toma en cuenta 5 modalidades de transporte que usan combustibles fósiles sea motocicletas, taxis, BRT, colectivos y vehículos particulares. A manera de ejemplo se desarrolló en principio el crecimiento de vehículos particulares, el diagrama causal para ese proceso (ver Figura (2)) describe las interacciones con los ciclos de retraso y refuerzo del crecimiento del parque automotor. La relación directa con la compra de vehículos por la necesidad de transporte de la población y la relación indirecta con la salida de vehículos por motivos de reemplazo generan una relación en el índice de vehículos percapita.

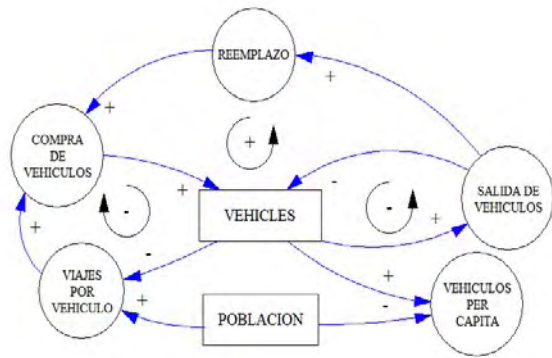


Figura (2) Diagrama causal Vehículos Bogotá D.C.

La simulación del crecimiento del parque automotor se ve en la figura (3) la cual muestra en el escenario 3 una estabilización de este tipo de vehículos porque este escenario se enfoca en la política ambiental donde la urbanización se sacrifica para tener gran número de zonas verdes y públicas donde la movilidad es eficiente. A 2.020 también se diferencian el escenario 2 y 4 donde el crecimiento automotor obedece al crecimiento poblacional debido a la mayor urbanización que permiten estos 2 escenarios

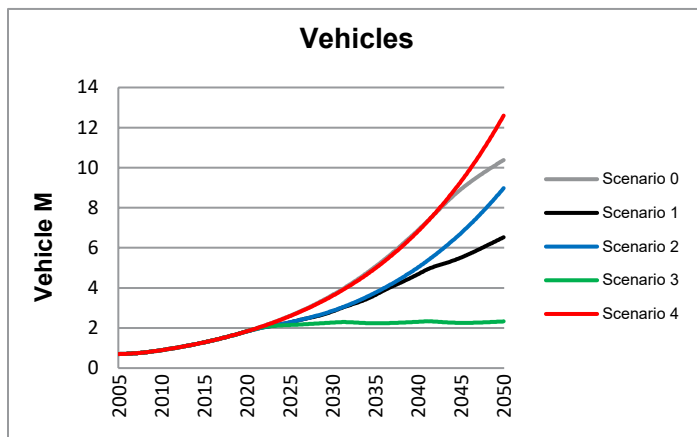


Figura (3) Simulación vehículos Bogotá D.C.

B. Consumo

Las principales Fuentes de energía para el transporte en la ciudad de Bogotá en la actualidad son la gasolina, diesel y gas natural y en el futuro según los escenarios 1, 2 y 3 al 2020 con la entrada del metro también habrá un consumo de electricidad para transporte.

Los vehículos particulares consumen en diferente proporción gasolina, diesel y gas natural, los taxis gasolina y gas natural, las motocicletas gasolina mientras que el transporte masivo y colectivos consumen Diesel. Debido a la cantidad de viajes que realicen las personas en los tipos de transporte, esta da un número determina-

do de recorridos en kilómetros por modalidad, y ya que cada una presenta una eficiencia de consumo distinta, se puede calcular la energía total consumida por el sector.

La figura (4) muestra la cantidad de energía (GJ) que consumen todos los medios de transporte de la ciudad. Este consumo tiene relación directa con el crecimiento poblacional que permiten los escenarios 2 y 4. Sin embargo en el escenario 3 se destaca que la población tiene menor crecimiento por tanto la demanda de

vehículos disminuye y por ende la de combustibles también y donde se incluye la entrada en funcionamiento del metro, el cual consume electricidad.

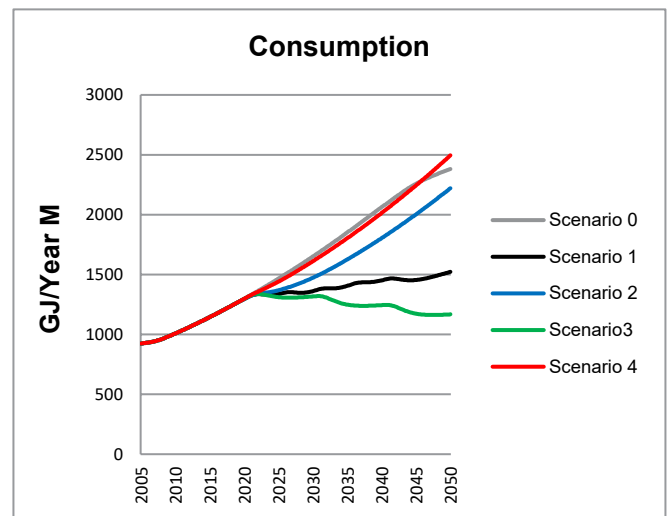


Figura (4) Consumo sector transporte Bogotá D.C.

La energía consumida por las líneas de metro se observa en la figura (5). Se toma en cuenta este consumo de electricidad porque tiene unas emisiones de carbono asociadas, y tiene influencia en el consumo de hidrocarburos.

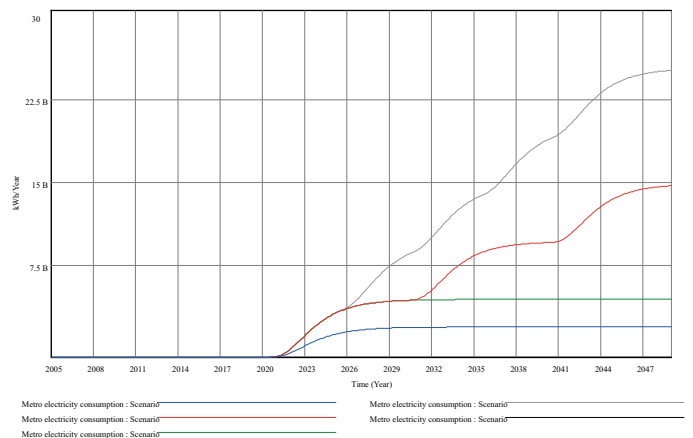


Figura (5) consumo electricidad del metro de Bogotá D.C

C. Emisiones

Según el factor de emisiones el consumo de energía tiene relación con las emisiones de gases de efecto invernadero en toneladas de CO₂ para cada combustible sea gasolina, diesel, gas natural y la electricidad para el caso del metro. La figura (6) contempla las emisiones del sector transporte que usa combustibles derivados del petróleo con la influencia de la entrada del metro pero sin tener en cuenta las emisiones asociadas al uso de la electricidad, con motivo de evaluar el impacto de los fósiles en distintos escenarios. En los escenarios 2 y 4 donde se permite el crecimiento de la población y donde los parques automotores se hacen más grandes, las contribuciones del transporte a las emisiones (GHG) tienen un crecimiento alarmante. Es importante resaltar los escenarios 1 y 3 amigables con el medio ambiente donde las emisiones se mantienen casi constantes en el tiempo.

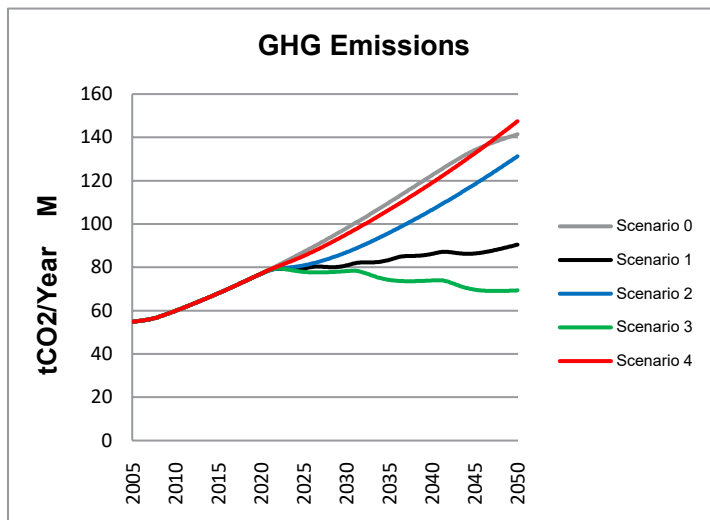


Figura (6). Emisiones sector transporte Bogotá D.C.

V. CONCLUSIONES

Parques automotores como el de la ciudad de Bogotá tienden a crecer en escenarios que permiten a la población acumularse a través del tiempo. Mientras en los escenarios donde el control de población lo establece una menor urbanización, y existen políticas ambientales, el número de vehículos, taxis, BRT, colectivos y motos no incrementa significativamente, y se benefician modalidades de transporte como el metro.

El consumo del sector transporte podría verse beneficiado al implementar políticas ambientales que desincentivan el crecimiento urbano, un buen ejemplo es la adecuación de zonas verdes y áreas públicas.

Controlar emisiones de gases de efecto invernadero a futuro tiene

una alta relación con la implementación de políticas para incentivar modalidades de transporte que consuman electricidad.

Sin duda la manera como se urbanice la ciudad en el horizonte de tiempo tendrá consecuencia en los hábitos de consumo y contaminación generados por el sector transporte.

VI. AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue financiado por la universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Los autores reconocen el apoyo de COLCIENCIAS, Colombia.

VII. REFERENCIAS

Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183–210.

Dyner, I., Garcia, J., Escalante, N., Pardo, C., Facchini, A., & Alonso, W. (2016). Simulación del metabolismo de Bogotá para su desarrollo sostenible

IEA. (2011). CO₂ emissions from fuel combustion. Retrieved from <http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>

K'Akumu, O. (2007). Sustain no city: An ecological conceptualization of urban development.

Pasquevich, D. (2014). La creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales

Quadrat-Ullah, H., & Seong, B. S. (2010). How to do structural validity of a system dynamics type simulation model: The case of an energy policy model. *Energy Policy*, 38(5), 2216–2224. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.009>

Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: Irwin/McGraw-Hill.

Unidad de Planeación Minero Energética. (2013). Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia.

VIII. Autores

I. Dyner: isaac.dynerr@utadeo.edu.co

D. Ospina: danielh.ospinab@utadeo.edu.co

S. Zapata: szapatar@unal.edu.co

A.J. Aristizabal: Andresj.aristizabal@utadeo.edu.co

J.S. García: stefany.garcia@utadeo.edu.co

N. Escalante: nescalante@rralaw-innovation.com

C.I. Pardo: clara.pardo@urosario.edu.co

W. Alfonso: williamalfonsop@yahoo.com

Simulación de la interconexión eléctrica entre la región Norte y Noreste de Brasil: una perspectiva de la cadena de suministro eólica

M. M. Herrera, I. Dyner, and F. Cosenz

Abstract— La interconexión Norte-Noreste es parte de un plan de expansión más amplio, que incluirá la construcción de nuevas líneas de transmisión en Brasil. La inversión en nuevas líneas de transmisión permite que los parques eólicos se conecten con éxito a la red eléctrica y transporten la electricidad generada a los centros de demanda. Sin embargo, los retrasos en la construcción de la infraestructura de transmisión asociada a la inversión insuficiente afectan la generación y transmisión entre las regiones brasileñas, así como la expansión de la energía eólica. Esta situación repercute en el suministro de energía en las regiones aisladas de Brasil debido a un crecimiento asincrónico entre la generación y la transmisión, que debe evaluarse a partir de una política de alternativas de inversión en la cadena de suministro eólico. En este trabajo se presentan escenarios de simulación de políticas alternativas de inversión para mitigar el desacoplamiento entre generación y transmisión de las regiones Norte y Nordeste, apoyándose en el modelado de dinámica de sistemas. Los resultados de la simulación muestran el acoplamiento de capacidades (transmisión y generación) a través de la sincronización de recursos financieros que permiten mejorar la interconexión entre regiones. Este estudio concluye que la política de inversión en la cadena de suministro para cada región interconectada necesita ser coordinada y planificada.

Keywords— transmisión, simulación, interconexión, energía eólica

I. INTRODUCCIÓN

BRASIL se enfrenta a problemas de energía similares a los problemas de China, lo que compromete la expansión de la energía eólica y la planificación de la cadena de suministro de energía. A pesar que Brasil posee un gran potencial de las energías renovables en Latinoamérica, Brasil se enfrenta a un problema de suministro de electricidad debido a la falta de infraestructura de transmisión a lo largo de las regiones norte y noreste [1]. Los retrasos en la construcción de la transmisión causan un impacto significativo en la expansión de energías renovables, principalmente de la energía eólica. Una solución a este problema implica nuevos sistemas de subastas para la transmisión que permitan integrar el sistema energético basado en recursos renovables [2].

A lo largo de la historia brasileña, se ha considerado que la expansión de la energía renovable es un factor clave para la competitividad. En este sentido, la expansión de la energía renovable ha permitido que la economía de Brasil crezca [3]. Sin embargo, algunas limitaciones relacionadas con la variación climática, la gran extensión territorial y la falta de recursos financieros no ha permitido que la expansión de energías renovables afecte positivamente las regiones aisladas y con mayor nivel de pobreza [4],

[5]. Adicionalmente, los efectos del cambio climático han llevado a una disminución de la capacidad de la energía hidroeléctrica, lo cual conlleva una mayor participación de la energía eólica en la matriz de generación eléctrica del país.

Actualmente, Brasil tiene la necesidad de expandir la infraestructura de transmisión de electricidad dirigida a suplir la demanda de energía en las regiones aisladas. Debido a su amplia extensión territorial, Brasil enfrenta problemas logísticos asociados con la construcción y desarrollo de nuevas líneas de transmisión. Esta situación afecta la interconexión eléctrica entre las regiones y las capacidades de generación. Este problema se genera debido a las decisiones de inversión asincrónicas generadas por la política energética dirigida a los actores de generación y transmisión. Por lo tanto, el efecto de las decisiones políticas en energía renovable tomadas de manera asíncrona afectan el rendimiento de la cadena de suministro eólica.

Una sobre producción de energía eólica podría ser exportada, sin embargo el sistema de transmisión del Nordeste no se encuentra suficientemente reforzado para permitir la exportación o importación del exceso de capacidad de energía generada [6]. En esta medida, la expansión de la cadena de suministro de energía eólica en Brasil puede estar comprometida.

Las regiones Norte y Nordeste de Brasil actualmente muestran altos niveles de pobreza y subdesarrollo social. Los costos sociales de implementar políticas insostenibles generan problemas de intercambio de energía asociados con la expansión de la capacidad instalada de la cadena de suministro de energía eólica. Este artículo presenta una simulación del comportamiento de la dinámica del intercambio de energía entre las regiones del Norte y Nordeste de Brasil que involucra alternativas de políticas de inversión para mitigar problemas de sincronización entre la generación y transmisión de la cadena de suministro eólica de Brasil.

El artículo se encuentra organizado de la siguiente forma: la sección II describe los antecedentes de la investigación relacionados con la infraestructura de transmisión y el rendimiento de la cadena de suministro eólica. La sección III expone la hipótesis dinámica que explica la estructura del sistema de interconexión entre regiones abordado. En la sección IV se presenta una discusión de los resultados que proporciona las contribuciones y los impactos de las alternativas de decisiones políticas en términos del sistema

interconectado del Norte y Nordeste. Finalmente, se presentan las conclusiones y trabajos futuros de la investigación.

II. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Estudios previos han abordado la expansión de energía renovable en Brasil desde varias perspectivas [4], [7]–[9]. El proceso de expansión en la generación de energía eólica ha sido progresivo. A partir de la instalación del primer parque de generación eólica en el período de 1992, Brasil demora casi dos décadas y solamente en los últimos cinco años ha tomado gran relevancia en el mercado eléctrico Brasileño. Sin embargo, la difusión de la tecnología eólica ha tenido que competir con tecnologías maduras y predominantes, tales como la hidroelectricidad. En este sentido, Brasil históricamente ha demostrado un potencial en la generación hidroeléctrica que se ha visto afectada por la variación climática [10], la promoción para mitigar las emisiones atmosféricas [7] y la sedimentación causada por la erosión natural en los embalses [11].

Varias investigaciones han demostrado el potencial de energía eólica en las regiones del Norte y Nordeste de Brasil [12], [13]. Sin embargo, a pesar de que Brasil cuenta con un potencial proyectado de energía eólica alrededor de 143 GW, el costo de producción de energía se ve afectado por las variaciones estacionales de cada región [12]. En este sentido, la complementariedad entre el recurso hidroeléctrico y eólico es necesaria así como un sistema de transmisión que permita una adecuada conexión entre las regiones con mayor capacidad de generación.

El sistema de transmisión Brasileiro consta aproximadamente de 126,406 Km de líneas de transmisión de alto voltaje [13], [14]. La extensión territorial de Brasil ha sido una de las preocupaciones en la expansión del sistema de transmisión, debido a los altos costos logísticos de transporte. Sin embargo, este mismo problema ha sido superado por otros países con características territoriales similares, tales como Alemania y China [15]–[17]. Además, la insuficiente inversión en infraestructura de transmisión afecta las capacidades de generación en las regiones con altos potenciales de producción de energía eólica, tales como el Norte y Nordeste de Brasil. En el año 2013 se reportaron pérdidas de 1,3 GW en eólica por falta de conexión al sistema de transmisión eléctrico brasileño [18]. Por lo tanto, estas pérdidas no solo afectaron al consumidor sino también impactan la interconexión y capacidades de la cadena de suministro eólica en Brasil.

La interconexión entre regiones y la construcción de nuevas líneas de transmisión a lo largo de Brasil implica varios inconvenientes. Las demoras en el otorgamiento de las licencias ambientales necesarias para las nuevas instalaciones eléctricas, afecta la expansión de la infraestructura de transmisión. Por otro lado, el precio de los terrenos hace que los proyectos de construcción de las torres de transmisión tengan un alto riesgo y baja factibilidad. Adicional-

mente, los costos y tiempos logísticos asociados a la instalación e implementación de las conexiones entre los parques eólicos y el sistema de transmisión.

Los inconvenientes sociales han sido también una limitación para la expansión de las líneas de transmisión y la conexión entre regiones. En el Nordeste de Brasil principalmente, las transformaciones del medio ambiente han generado un alto impacto en las comunidades tradicionales relacionado con el acceso a otros de los servicios públicos, tales como transporte a colegios, recolección de basuras y el acceso a servicios de salud [4]. Esta situación afecta las nuevas conexiones y desarrollo de instalaciones eólicas en las regiones Norte y Nordeste. Igualmente, los conflictos sociales han afectado la inversión de los operadores y actores de la cadena de suministro eólica.

Aunque existen algunos trabajos desde la perspectiva en dinámica de sistemas que abordan la conexión eléctrica entre países [19], [20], el caso de Brasil no ha sido abordado y profundizado desde esta perspectiva. El modelo presentado por [21] presenta una simulación de escenarios para el mercado energético de Minas Gerais en Brasil enfocado en una política de generación de bajo carbono. En el caso de [6], se desarrolló un análisis económico de la integración y penetración de la energía eólica en Brasil. Otros trabajos con modelos de dinámica de sistemas y una perspectiva de la cadena de suministro de etanol en México fueron abordados por [22]. Sin embargo, estos trabajos no profundizaron en la evaluación de las decisiones políticas de inversión de las capacidades entre regiones asociadas a la generación y transmisión. En este sentido, la dinámica de sistemas permite simular escenarios relacionados con las decisiones políticas asociadas con las inversiones en las capacidades de generación y transmisión de las regiones.

Los escenarios de simulación permiten entender el comportamiento asincrónico de la cadena de suministro. Por lo tanto, la simulación bajo ciertos escenarios contribuye a entender como mitigar el efecto de las decisiones de inversión asincrónica de la cadena de suministro eólica en el caso de Brasil.

III. HIPÓTESIS DINÁMICA

La dinámica de sistemas es una metodología muy útil que provee una perspectiva sobre un sistema complejo dirigida a comprender el comportamiento en el tiempo de los actores de una cadena de suministro [22]–[25]. En este sentido, la construcción de una hipótesis dinámica antecede la construcción del modelo de simulación con el fin de entender la estructura del sistema a estudiar [26]. En este caso proponemos una hipótesis dinámica con el fin de entender la estructura del comportamiento del sistema de interconexión entre regiones y los efectos de la falta de transmisión de electricidad. La Figura 1 muestra la hipótesis dinámica que se utilizó para entender las relaciones entre las regiones de Brasil conectadas a través del sistema de conexión y su relación con la

generación y la dinámica del mercado energético.

La etapa de conceptualización a través de la hipótesis dinámica construida permite entender el problema de estudio y las relaciones entre las variables que subyacen en el sistema. Los bucles de realimentación definen las dinámicas del comportamiento del sistema. En este caso se presentan los siguientes bucles de realimentación:

- El bucle B1 y B3 muestra la relación de balance que representa la dinámica del mercado y la relación entre el precio de cada región, la demanda energética y la capacidad de generación tanto para el Norte como para el Nordeste de Brasil.
- El bucle B2 y B4 presentan la dinámica de expansión de la cadena de suministro eólica para cada región. En este caso los incentivos son generados a partir del precio y la atracción de la nueva tecnología renovable, en este caso la energía eólica. Por medio de los incentivos se desarrolla mayor capacidad en construcción y esta a su vez aumenta la capacidad construida en el tiempo. Sin embargo, esta dinámica implica de tiempos de construcción y procesos contractuales de subastas que demoran los procesos de expansión de capacidad. Por lo tanto, la capacidad instalada de generación afecta el margen de cada región. El margen es una relación entre la oferta (capacidad de generación) y la demanda de electricidad local.
- El bucle R1 representa la dinámica de la demanda entre las re-

giones. Este bucle refuerza la cantidad de demanda que requieren las regiones locales.

- El bucle B5 y B6 representan el efecto de la necesidad de transmisión de cada región y el impacto en la congestión de las líneas de transmisión debido a la insuficiente infraestructura de conexión entre regiones. Esta dinámica muestra la falta de acoplamiento debido a la baja transmisión entre regiones por causa de las decisiones asíncronas en términos de política de inversión.

Por lo tanto, la hipótesis dinámica representa la falta de acoplamiento entre los actores de la cadena de suministro de energía eólica en Brasil. El desacoplamiento es producida por la falta de sincronía de las decisiones políticas dirigidas a la expansión de generación y transmisión de electricidad en las regiones de Brasil.

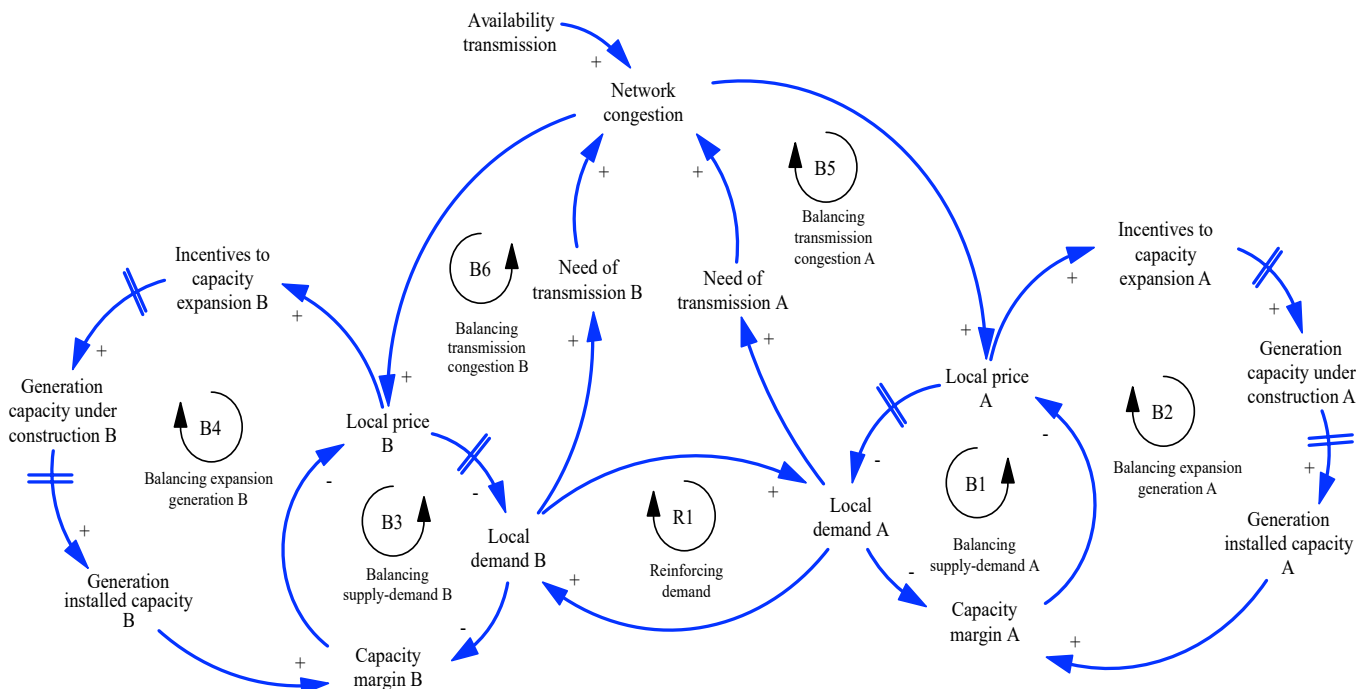


Fig. 1. Hipótesis dinámica del intercambio de energía entre la región Norte y Nordeste de Brasil

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se desarrolló un modelo de simulación que representa la dinámica de desacoplamiento entre la transmisión, generación y demanda de electricidad en el Norte y Nordeste de Brasil. A través del modelo se representan dos escenarios de simulación relacionados con la insuficiencia de recursos financieros que afectan el acoplamiento de la cadena de suministro eólica.

A. Escenarios sin sincronización de recursos financieros

Los efectos relacionados con la inversión dirigida a la expansión de generación o transmisión de electricidad afecta la cadena de suministro de energía eólica. En el caso de Brasil, aunque varias políticas han sido dirigidas a la expansión y promoción de renovables, las demoras en las subastas y la inversión en transmisión, han generado un impacto en la cadena de suministro y el rendimiento de la misma. El primer escenario muestra el efecto de la falta de sincronización en los recursos financieros generados por una falta de políticas energéticas sincron-

izadas. La Figura 2 muestra que a pesar de tener una interconexión entre norte y nordeste de Brasil la carga de transmisión no es suficiente para cubrir la demanda del Nordeste de Brasil. Si bien las líneas de generación del Norte mantienen el suministro de generación el intercambio con el Nordeste produce congestión en la transmisión del sistema de interconexión. En este sentido el precio de la energía para estas regiones se ve afectado, debido a la congestión de transmisión producida por el intercambio entre regiones.

B. Escenarios con sincronización de recursos financieros

La sincronización de recursos financieros consiste en la inversión y planeación estratégica de los recursos en forma balanceada que permite el acoplamiento e integración de los actores de la cadena de suministro. En este sentido, hemos desarrollado un escenario que contempla la sincronización de recursos de transmisión y generación de energía eólica en la cadena de suministro.

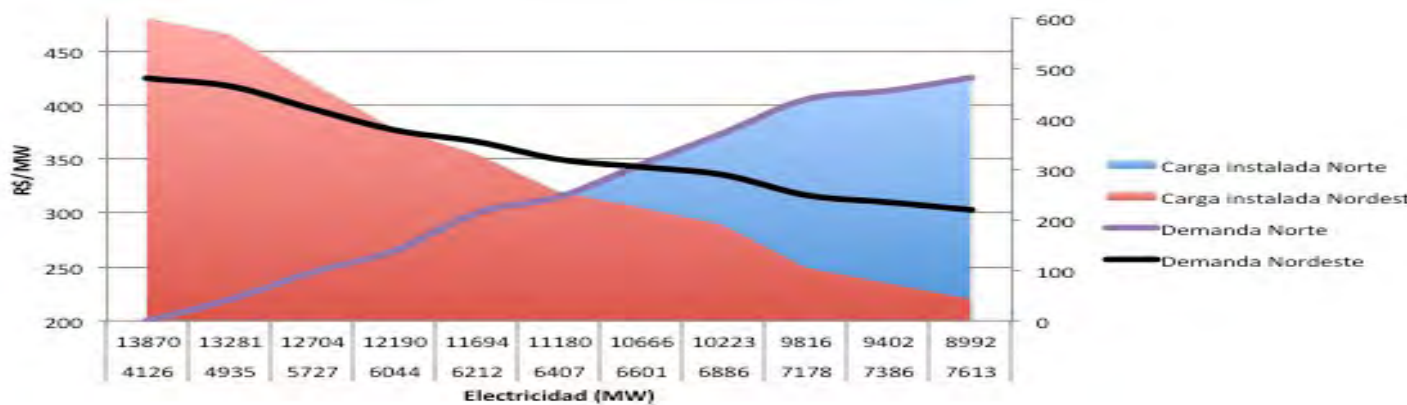


Fig. 3. Escenario sin sincronización de recursos financieros

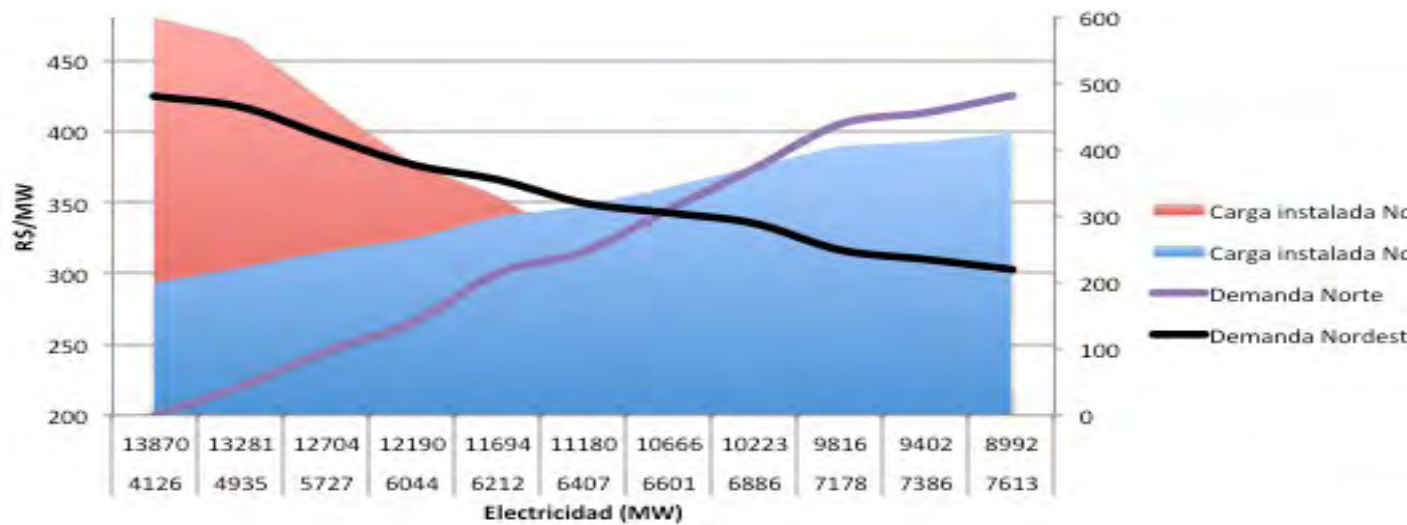


Fig. 2. Escenario con sincronización de recursos financieros

La Figura 3 muestra los efectos de la sincronización de recursos financieros a partir de políticas de inversión balanceadas para la transmisión y generación de las regiones en estudio. La gráfica presenta como se mitiga el problema de falta de transmisión en la región nordeste de Brasil. Sin embargo la región norte, se enfrenta al aumento de la demanda de energía la cual es compensada con la transmisión de electricidad de la región nordeste.

V. CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

El diseño de políticas energéticas dirigidas al acoplamiento de los actores de la cadena de suministro de energía eólica muestra que los problemas de intercambio y dinámicas de la capacidad de generación entre regiones puede ser mitigado.

Trabajos posteriores pueden estar dirigidos a simular otros escenarios relacionados con los efectos de aislamiento en la cual no se considera interconexión entre regiones. Otro escenario de simulación como la expansión de la infraestructura de transmisión puede mostrar algunas guías que orienten el diseño de políticas energéticas en este aspecto.

VI. AGRADECIMIENTOS

Reconocemos y agradecemos a los revisores anónimos por sus comentarios y ayuda para mejorar las ideas expuestas en este artículo.

VII. REFERENCIAS

- [1] J. M. Kissel and S. C. W. Krauter, "Adaptations of renewable energy policies to unstable macroeconomic situations-Case study: Wind power in Brazil," *Energy Policy*, vol. 34, no. 18, pp. 3591–3598, 2006.
- [2] T. Foley, K. Thornton, R. Hinrichs-rahlfes, S. Sawyer, M. Sander, R. Taylor, S. Teske, H. Lehmann, M. Alers, and D. Hales, *Renewables 2015 global status report*. 2015.
- [3] H. T. Pao and H. C. Fu, "Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 381–392, 2013.
- [4] C. Brannstrom, A. Gorayeb, J. de Sousa Mendes, C. Loureiro, A. J. de A. Meireles, E. V. da Silva, A. L. R. de Freitas, and R. F. de Oliveira, "Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 62–71, 2017.
- [5] A. A. Juárez, A. M. Araújo, J. S. Rohatgi, and O. D. Q. De Oliveira Filho, "Development of the wind power in Brazil: Political, social and technical issues," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 828–834, 2014.
- [6] P. de Jong, A. Kiperstok, A. S. Sánchez, R. Dargaville, and E. A. Torres, "Integrating large scale wind power into the electricity grid in the Northeast of Brazil," *Energy*, vol. 100, pp. 401–415, 2016.
- [7] M. G. Pereira, C. F. Camacho, M. A. V. Freitas, and N. F. Da Silva, "The renewable energy market in Brazil: Current status and potential," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 6, pp. 3786–3802, 2012.
- [8] M. S. M. de Araújo and M. A. V. de Freitas, "Acceptance of renewable energy innovation in Brazil-case study of wind energy," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 2, pp. 584–591, 2008.
- [9] N. F. Da Silva, L. P. Rosa, M. A. V. Freitas, and M. G. Pereira, "Wind energy in Brazil: From the power sector's expansion crisis model to the favorable environment," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 22, pp. 686–697, 2013.
- [10] E. Von Sperling, "Hydropower in Brazil: Overview of positive and negative environmental aspects," *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 110–118, 2012.
- [11] R. B. De Miranda and F. F. Mauad, "Influence of Sedimentation on Hydroelectric Power Generation : Case Study of a Brazilian Reservoir," *J. Energy Eng.*, vol. 4014016, no. 7, pp. 1–7, 2014.
- [12] E. B. Pereira, F. R. Martins, M. P. Pes, E. I. da Cruz Segundo, and A. de A. Lyra, "The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil," *Renew. Energy*, vol. 49, pp. 107–110, 2013.
- [13] A. R. Silva, F. M. Pimenta, A. T. Assireu, and M. H. C. Spyrides, "Complementarity of Brazils hydro and offshore wind power," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 413–427, 2016.
- [14] R. Corrêa Da Silva, I. De Marchi Neto, and S. Silva Seifert, "Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 328–341, 2016.
- [15] C. A. De Melo, G. D. M. Jannuzzi, and S. V. Bajay, "Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 61, pp. 222–234, 2016.
- [16] J. Yuan, S. Sun, J. Shen, Y. Xu, and C. Zhao, "Wind power supply chain in China," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 356–369, 2014.
- [17] J. S. Lacerda and J. C. J. M. Van Den Bergh, "International Diffusion of Renewable Energy Innovations: Lessons from the Lead Markets for Wind Power in China, Germany and USA," pp. 8236–8263, 2014.
- [18] R. Santos, "International Power Market Impacts for Latin America." *ABEEólica*, Brazil, p. 16, 2016.
- [19] C. Ochoa, I. Dyner, and C. J. Franco, "Simulating power integration in Latin America to assess challenges, opportunities, and threats," *Energy Policy*, vol. 61, pp. 267–273, 2013.
- [20] C. Ochoa and A. van Ackere, "Does size matter? Simulating electricity market coupling between Colombia and Ecuador," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 1108–1124, 2014.
- [21] M. V. E. Xavier, A. M. Bassi, C. M. de Souza, W. P. B. Filho, K. Schleiss, and F. Nunes, "Energy scenarios for the Minas Gerais State in Brazil: an integrated modeling exercise using System Dynamics," *Energy. Sustain. Soc.*, vol. 3, no. Figure 1, pp. 1–13, 2013.
- [22] M. a. Rendon-Sagardi, C. Sanchez-Ramirez, G. Cortes-Robles, G. Alor-Hernandez, and M. G. Cedillo-Campos, "Dynamic analysis of feasibility in ethanol supply chain for biofuel production in Mexico," *Appl. Energy*, vol. 123, pp. 358–367, 2014.
- [23] J. D. Sterman, *Business dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, no. December 1999. McGraw-Hill, 2000.

[24] J. W. Forrester, "Industrial dynamics." M.I.T. Press, p. 197, 1961.

[25] M. M. Herrera and J. A. Orjuela Castro, "Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas : un enfoque desde la dinámica de sistemas," Ingeniería, vol. 19, no. 2, pp. 63–84, 2014.

[26] R. Oliva, "Model calibration as a testing strategy for system dynamics models," Eur. J. Oper. Res., vol. 151, no. 3, pp. 552–568, 2003.

M. M. Herrera and I. Dynér are with Faculty of Science Natural and Engineering, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia (e-mail: miltonm.herrerar@utadeo.edu.co; isaac.dynerr@utadeo.edu.co).

F. Cosenz is with the Department of European Studies and International Integration (DEMS), Università Degli Studi di Palermo, Palermo, Italy. (email: federico.cosenz@unipa.it).

Estudio De La Influencia De La Información Al Usuario Sobre La Congestión Vial Utilizando La Dinámica De Sistemas

C. P. Báez, D. C. Román

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Grupos de Investigación: Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas-Materiales y Estructuras de Construcción INME.

Resumen - La información sobre la congestión vial de los corredores de una ciudad, puede ser de utilidad para mejorar las condiciones de desplazamiento en la misma. El hecho de que el usuario tenga información acerca del estado de las rutas disponibles para realizar su desplazamiento, le permite tomar una decisión que lo beneficia y que al mismo tiempo permite un beneficio para la ciudad en general, logrando que la distribución de los flujos vehiculares se distribuya homogéneamente sobre las vías disponibles, aliviando la congestión en los corredores que por desconocimiento de opciones adicionales presentan un grado de congestión alto. Una representación de como la información al usuario podría disminuir los índices de congestión de una ciudad se muestra en el desarrollo del presente trabajo, en donde mediante la dinámica de sistemas se puede estudiar el comportamiento de los usuarios vehiculares frente al suministro de información.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, Congestión, Información al Usuario, Elección de Ruta

I. Introducción

La incipiente demanda de herramientas y técnicas más eficientes para abordar problemáticas relacionadas con los problemas de tránsito y transporte, desde la optimización y el control de redes, la asignación de la demanda eficiente, entre otras muchas y el crecimiento desmesurado en la demanda de movilidad de los sistemas de tránsito y el transporte, nos ha llevado a comprender que no solamente deben desarrollarse nuevas técnicas de aplicación si no que debe entenderse el comportamiento acerca de las decisiones que tomamos individualmente para satisfacer esas necesidades, de forma que el problema, en una escala mayor, se basa en miles de decisiones individuales, por lo cual la tecnología es cada vez más necesaria como soporte para simular y tal vez controlar.^[1]

Algunas de las más conocidas soluciones que se están brindando desde el ámbito público y privado, y que además se han identificado como un campo importante para profundizar en materia de investigación, es la información al usuario. “Informar a los viajeros desempeña un papel importante en la gestión eficiente de una red de transporte. La provisión de información oportuna y de alta calidad puede causar una reducción en la cantidad de viajeros que

entran en condiciones ya congestionadas, con viajeros que deciden retrasar su viaje, encontrar una ruta alternativa o en su lugar utilizar el transporte público. Para obtener el máximo beneficio es necesario proporcionar a los viajeros una imagen completa de la información relativa a su viaje. Como los viajes a menudo implican secciones urbanas e interurbanas, la provisión de información de toda la red es esencial”. [2]

II. Marco teórico

En la actualidad existen aplicaciones tecnológicas como waze y google transit que entregan información al usuario sobre las incidencias que existen en las vías de una ciudad y el estado del tráfico en la misma. Estas aplicaciones se basan en la información de los viajes que realizan los diferentes usuarios, calculando velocidades promedio, verificando la estructura vial, rectificando los giros permitidos, sentido viales, entre otros, de forma que esta interacción con la aplicación permite compartir en tiempo real información sobre condiciones de tráfico, accidentes, controles policiales, entre otras. La aplicación recopila y procesa esta información y revierte los resultados a los demás usuarios para ofrecer rutas más óptimas para llegar a sus destinos.^[3]

En qué forma podemos medir el impacto que tiene la información al usuario en la elección de ruta de los usuarios y al mismo tiempo en la movilidad de una ciudad, es una problemática que se ha abordado desde diferentes perspectivas de modelado y considerando que la necesidad de modelar la demanda de transporte de una ciudad no es un tema que se aborde de forma reciente ^[1]. A continuación, se exponen algunas de las metodologías de simulación de tráfico más importantes presentados por Bazzan & Klügl en su trabajo “A review on agent-based technology for traffic and transportation”:

- **Econometría:** Esta metodología pretende abordar el riesgo y la ambigüedad en contextos de elección individuales de forma que pueda comprenderse el proceso de elección de una decisión y utilizar la información del comportamiento para la predicción,

prescripción y análisis de políticas ^[4]. El resultado principal es la descripción de las preferencias de los participantes del tráfico, pero también se refieren a problemas encontrados en cuanto a la calidad requerida de los datos de entrada, la complejidad limitada de las funciones que se pueden estimar, así como la transferibilidad de los resultados a escenarios similares.

- **Teoría de Juegos:** en la literatura pueden encontrarse dos escenarios, en donde en el primero la elección de ruta es abstracta para luego usar las técnicas de teorías de juegos. Y en el segundo los escenarios con mayores alternativas de ruta, frecuentemente usan una red de carreteras realista, y se representan mediante modelos de toma de decisiones más complejos. La idea principal es que, usando metáforas de teorías de juegos como la minorías o congestión, los agentes seleccionan una alternativa, dependiendo de si es la opción que representa mayores o menores beneficios, son recompensados por su decisión. Como resultado de reproducir muchas veces los escenarios, puede lograrse un modelo abstracto para muchos escenarios de tráfico en el que los agentes desean evitar seleccionar la alternativa que selecciona la mayoría.
- **Autómata Celular:** La idea de esta metodología es que el espacio de trabajo es segmentado en celdas, cuyo espacio es actualizado en relación al estado de las celdas vecinas en función de unas reglas establecidas para la actualización. Los autómatas celulares se pueden implementar de manera muy eficiente, haciéndolos adecuados para simulaciones de flujo de tráfico a gran escala. Sin embargo, la complejidad necesaria de la toma de decisiones capturada en el estado de una célula y la formulación de reglas estrictamente locales de actualización pueden ser bastante desafiantes cuando involucran muchas reglas.
- **Teoría de Colas:** La teoría de colas abstrae la toma de decisiones real durante la conducción en un enlace capturando el tiempo que una unidad de controlador de vehículo permanece en un enlace particular en función de su posición en una cola. La simulación de colas puede verse como una solución intermedia entre los paradigmas de simulación microscópica y macroscópica. Las unidades conductoras de vehículos pasan pasivamente por el sistema, es decir, no se toman decisiones activas durante la conducción.
- **Sistemas Multiagentes:** Los enfoques basados en agentes, son adecuados para la gestión del tráfico y el transporte, dada la distribución geográfica, funcional y temporal de los datos y control, así como la interacción frecuente y flexible entre los participantes y su entorno". Ya que los sistemas multiagente están basados en herramientas de gestión y control de tráfico, y deben contener la distribución y control de los datos de forma funcional, geográfica y temporal, así como también las frecuen-

cias y una interacción flexible entre los usuarios participantes y su entorno, es de suponer que pueden contribuir a un esfuerzo total alrededor del diseño y control de sistemas ITS y hacer nuestras ciudades inteligentes.

El presente trabajo pretende abordar esta problemática desde el punto de vista del pensar sistémico y los lenguajes disponibles en la dinámica de sistemas, iniciando con la percepción de congestión de una ciudad, evaluando parámetros específicos y orientándolos a escenarios que permitirán valorar la practicidad de soluciones que han venido implementándose en un escenario global que si bien no considera la totalidad de los parámetros que están involucrados actualmente, son algunos de los más representativos y nos permiten obtener un punto de vista interesante que facilita la disposición de escenarios de discusión para el desarrollo de nuevas o complementarias alternativas.

III. Articulación del problema

El aumento de la población en las ciudades de la mano con la necesidad de los habitantes de desplazarse para satisfacer sus necesidades, la deficiente planificación de muchas de las urbes del mundo y el crecimiento repentino de las mismas, han creado desafíos de movilidad que exigen soluciones rápidas y contundentes a las difíciles circunstancias actuales. Por otro lado, "dada la creciente complejidad de los sistemas de tráfico y transporte, los cuales surgen del modo de vida moderno y de los nuevos medios y organización del transporte, no sólo nuevas técnicas deben ser desarrolladas, sino también las decisiones individuales deben ser mejor entendidas si todo el sistema va a ser más eficiente. Por lo tanto, no es sorprendente que exista un creciente debate sobre cómo modelar y mejorar el tráfico y el transporte tanto en el nivel individual (micro) como a nivel de la sociedad (macro)." ^[1]

"El transporte es un elemento constitutivo de la Vida urbana, y así como su mejoramiento contribuye a elevar la calidad de Vida de la población, su deterioro constituye un vector de degradación que deben pagar todos los ciudadanos en mayor o menor medida." ^[5] Es de resaltar que actualmente el problema de transporte urbano en las ciudades a nivel mundial se ha convertido en un servicio de vital importancia que empieza a cobrar dimensiones de gran magnitud y que como consecuencia demanda soluciones que permitan asegurar la efectividad en los desplazamientos de los habitantes en las ciudades.

La creciente demanda que se efectúa sobre la oferta vial de las ciudades es relativamente constante, las velocidades de circulación presentan una disminución continua a medida que la demanda de infraestructura vehicular crece. La situación de movilidad en las ciudades rápidamente se vuelve crítica, según algunos estudios obtenidos de forma estadística, que relacionan la velocidad de circulación en una calle con el volumen de tránsito. En las horas de máxima demanda, una gran parte de la red vial en las ciudades

está operando muy cerca de su capacidad, lo que significa que pequeños aumentos en los flujos de tránsito agravan muy severamente la congestión lo que provoca una reacción en cadena de diferentes problemáticas que confluyen en una movilidad entorpecida que exige soluciones prontas y de rápida respuesta. [6]

La gran posibilidad de rutas que pueden ser seleccionadas para satisfacer las necesidades de movilidad de una persona, de la mano con la elección de los diferentes modos disponibles para cubrir dichas rutas, suponen problemas importantes de decisión humana que deben ser tomadas por los diferentes usuarios de los servicios de transporte de una ciudad y que dependen de un factor espacial nada despreciable, lo cual sugiere que la selección de rutas puede estar influenciada por la elegibilidad del modo de transporte. En una simulación de tráfico, la ruta y la selección de modo están ubicadas entre el modelamiento de la demanda de viajes que determina cuando una persona quiere viajar desde una ubicación origen o cual es el destino y la situación de la movilidad actual o la simulación del flujo del tráfico, donde los participantes de la simulación reproducen el movimiento en la vía en detalle. [7]

Lo anterior, sumado a muchas otras dificultades relacionadas con la infraestructura vial, servicios públicos de transporte, cultura vial deficiente, preferencia del vehículo privado, entre otras; representan un reto para la administración y planeación del transporte en las ciudades, por lo cual la búsqueda de soluciones enfocadas a mitigar estas externalidades del transporte han tenido un desarrollo significativo, exponiendo diferentes estrategias que se aplican a diversas problemáticas, que esperan ser un conjunto de soluciones que construyan una movilidad eficiente y sostenible.

IV. Formulación del modelo de simulación

Como primer paso en el modelamiento, los autores se dieron a la tarea de entender la dinámica de movilidad de una ciudad, mediante el dialogo con expertos en movilidad y la revisión de literatura, de forma que se vislumbró el contexto a considerar para el desarrollo del modelo, como primera medida para el desarrollo del mismo. Se concluyó que el alcance del presente proyecto se enfocaría solamente a la representación general de la congestión en una ciudad que tiene como principales ejes conectores cuales quiera dos rutas. Como segunda presunción, se determinó que la información al usuario se suministraría en tiempo real sin tener en consideración la forma en que esta será proporcionada a los beneficiarios. Por último, se discretizó el problema, identificando las variables y las relaciones pertinentes de las mismas para lograr que el modelo representara fielmente el propósito planteado. Para la construcción de los prototipos se utilizó el software Evolución v4.6, desarrollado por el grupo de investigación SIMON, adscrito a la escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander. Para el desarrollo de la temática abordada, se consideró pertinente realizar al menos tres prototipos con el fin de hacer seguimiento a las fases del proceso de modelado.

Naturalmente, el primer prototipo es el más sencillo dado que no aborda la totalidad del problema, sino que permite entender el problema de la congestión en una ciudad con un sistema vial, desde un enfoque sistémico, como base para el desarrollo de la implementación de políticas que aporten a la solución del problema específico, como la información al usuario. Inicialmente, se considera el sistema vial de la ciudad como un todo, de forma que se asume un único sistema en donde el total de los vehículos del parque automotor disponible de la ciudad, transitan por el sistema vial de la ciudad. Se estima que, del total del parque automotor disponible, solamente un porcentaje de los vehículos estaría transitando simultáneamente por las vías de la ciudad, por lo cual se definió la variable de “vehículos en uso” para medir esta cantidad. En cuanto a la infraestructura para el tránsito de los vehículos, como se mencionó anteriormente, se asumió que el total de la malla vial estaría representada por una variable que permitiera conocer la capacidad total de infraestructura disponible. Siendo el propósito del presente modelo medir la congestión actual en la ciudad, y con los supuestos antes explicados, se definió la variable “nivel de servicio” como una relación que permite conocer el grado de congestión del sistema dependiendo de los vehículos que están en uso.

Para el segundo prototipo, se partió del prototipo anterior, sólo que en esta ocasión se consideraron dos subsistemas viales. Es decir que considera dos vías representadas por las variables de nivel diferentes, con diferentes especificaciones. Para representar la fluctuación de la demanda de las vías se considera en el modelo una variable exógena que cuantifica dicha demanda en el tiempo. Además, se representa el parque automotor disponible con la finalidad de encontrar el comportamiento del parque automotor en ambas vías. La figura 1 presenta un diagrama de influencias que representa la relación entre las variables involucradas en el estudio.

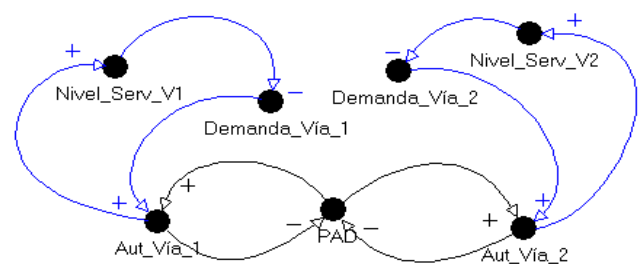


Figura 1. Diagrama de influencias para explicar la congestión vial en dos subsistemas

El tercer prototipo, es el resultado de la construcción y mejora mediante la realimentación del proceso de modelado. En este último prototipo se consideran todas las variables expuestas en los prototipos 1 y 2, cuyo fin máximo ha sido generar un modelo para estudiar la congestión vial en escenarios definidos. La adición importante que se encuentra en este modelo se logra mediante la adhesión de la información al usuario. La consideración básica de la adhesión de la información al usuario se da mediante una vari-

able que considera la proporción o el porcentaje de la población que tiene acceso a los sistemas de información al usuario. Una vez conocido este porcentaje se asume que los usuarios que conocen de antemano la información sobre la congestión en las vías realizan su recorrido por la vía que es más conveniente según los niveles de congestión.

V. Resultados

Como se mencionó anteriormente se usa el software EVOLUCIÓN v4.6 desarrollado por el grupo de investigación SIMON de

la Universidad Industrial de Santander para programar el modelo por medio de diagramas de flujo nivel en donde se programan tres prototipos y para cada prototipo se establecen las condiciones iniciales en escenarios diferentes para estudiar la respuesta numérica del modelo ante la variación de los parámetros.

Iniciando con el primer prototipo, se le da poca trascendencia o relevancia debido a que se observa que este es un modelo simplista porque en los resultados obtenidos no se observa una representación del comportamiento intuitivo de la demanda de transporte, por tal razón los resultados concluyen que, si bien el modelo repre-

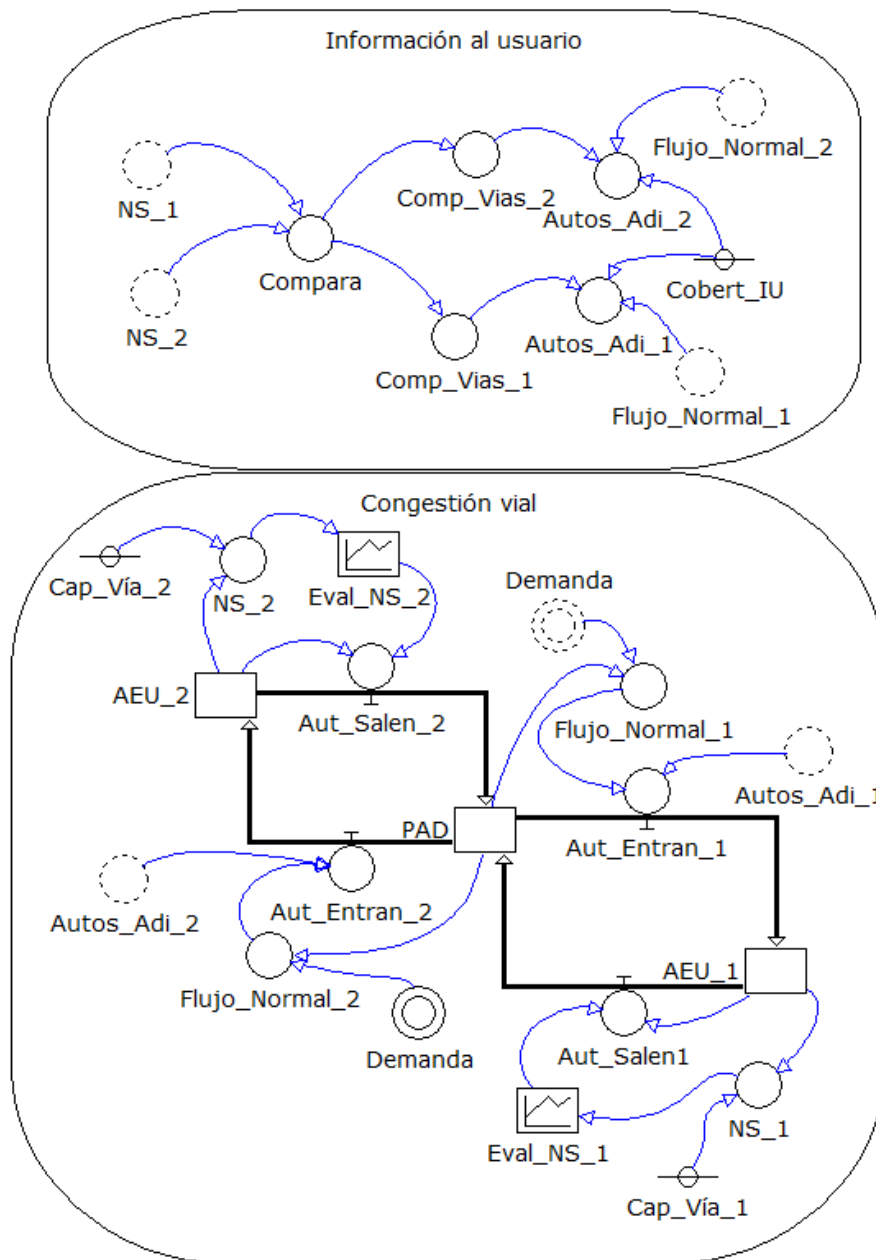


Figura 2. Diagrama de flujo nivel del tercer prototipo

senta la relación entre los vehículos y los sistemas viales, es necesario modelar la demanda de tráfico en el sistema vial.

Con base en lo concluido anteriormente, se modela la demanda como una variable exógena del sistema y se agrega otro subsistema vial, con lo que se completa el segundo prototipo, para el cual se presentan resultados de tres escenarios, cuyos valores de los parámetros se muestran en la tabla 1. En la figura 3 se muestran los resultados del comportamiento de las variables AEU_1, AEU_2 y PAD para el primer escenario.

Tabla 1. Condiciones iniciales para los escenarios simulados para el segundo prototipo. Fuente: Autores

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Capacidad vía 1	50	100	50
Capacidad vía 2	120	100	120
Parque Automotor Disponible	2000	2000	1500
Autos en la vía 1 (AEU_1)	0	0	0
Autos en la vía 2 (AEU_2)	0	0	500

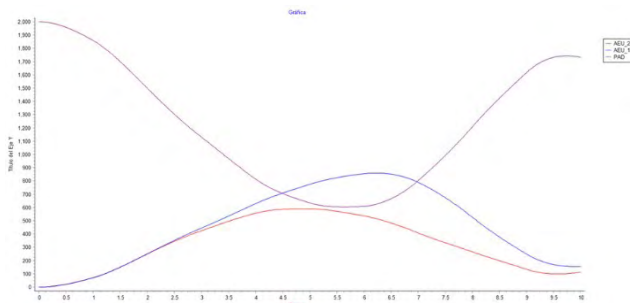


Figura 3. Comportamiento de AEU1, AEU2 y PAD para el escenario 1 del prototipo 2

En la figura 4 se muestra un resultado interesante del segundo escenario, en el cual ambas vías tienen la misma capacidad.

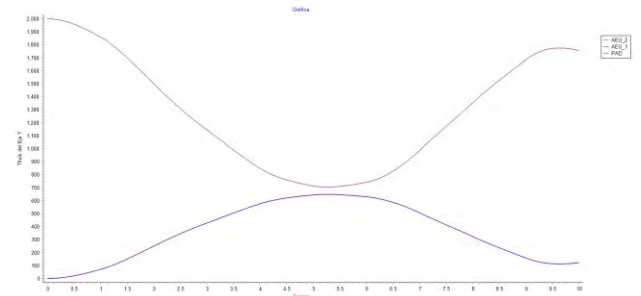


Figura 4. Comportamiento de AEU1, AEU2 y PAD para el escenario 2 del prototipo 2

En la figura 5 se muestran los resultados obtenidos al representar el tercer escenario mostrado en la tabla 1 en el cual ambos sistemas viales tienen capacidades diferentes, pero uno de los subsistemas viales inicia con una cantidad de vehículos diferente de cero.

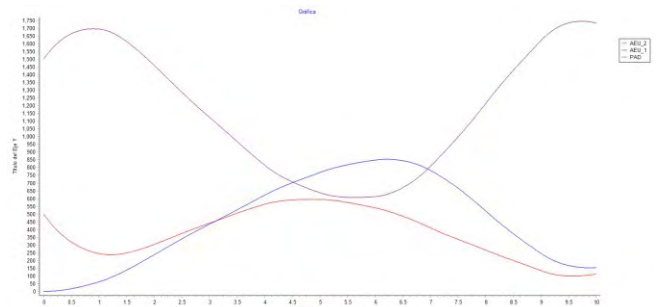


Figura 5. Comportamiento de AEU1, AEU2 y PAD para el escenario 3 del prototipo 2

Ahora, considerando satisfactorios los resultados del segundo prototipo, se construye un tercer prototipo. El diferencial del tercer prototipo es la implementación de la información al usuario, aportando un criterio de decisión en la elección de la ruta según el nivel de tráfico existente. El diagrama de flujo nivel probado en este caso se muestra en la figura 2. La consideración básica de la adhesión de la información al usuario se da mediante un parámetro del modelo que considera la proporción o el porcentaje de la población que tiene acceso a los sistemas de información al usuario (Cobert_IU en la sección de Información al usuario de la figura 2). Una vez conocido este porcentaje, se asume que los usuarios que conocen de antemano la información sobre la congestión (la cual se representa mediante la comparación de los niveles de servicio en ambas vías) en las vías realizan su recorrido por la vía que es más conveniente según los niveles de congestión.

Tabla 2. Condiciones iniciales para los escenarios simulados para el tercer prototipo. Fuente: Autores

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Capacidad vía 1	50	50	50	50
Capacidad vía 2	120	120	120	120
Parque Automotor Disponible	2000	2000	2000	2000
Autos en la vía 1 (AEU_1)	0	0	0	0
Autos en la vía 2 (AEU_2)	0	0	0	0
Cobertura Información al Usuario	0%	20%	50%	80%

El tercer prototipo se analiza en cuatro escenarios fundamentalmente. En la tabla 2, se muestran las condiciones iniciales para los cuatro escenarios tenidos en cuenta para analizar la respuesta de la congestión vial del prototipo 3 (figura 2).

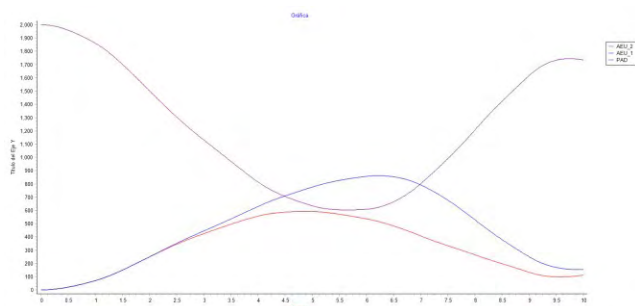


Figura 6. Comportamiento de AEU1, AEU2 y PAD para el escenario 1 del prototipo 3

En la figura 6 se muestra la respuesta de las variables que representan los vehículos existentes ante las condiciones iniciales del escenario 1. En esta primera simulación lo que se asume es que la cobertura de la información al usuario es nula.

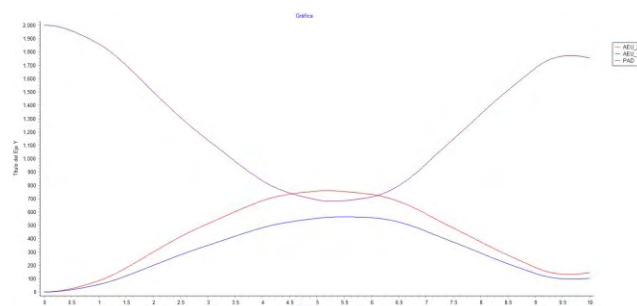


Figura 7. Comportamiento de AEU1, AEU2 y PAD para el escenario 2

Como se observa en la figura 7, en el segundo escenario del prototipo 3 se aumenta en un 20 % la cobertura de la información al usuario, es decir la cobertura de la Información al Usuario se asume del 20 %.

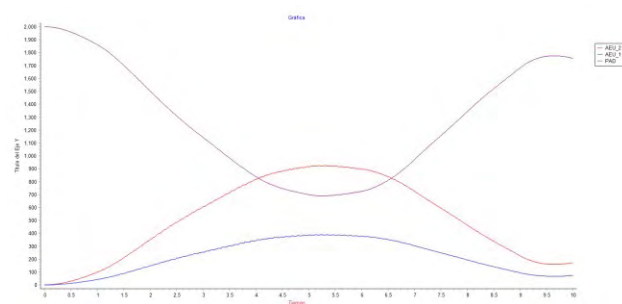


Figura 8. Comportamiento de AEU1, AEU2 y PAD para el escenario 3

La respuesta obtenida mediante la simulación del tercer escenario del prototipo 3 se observa en la figura 8, en el cual se aumenta un 30 % la cobertura de la Información al Usuario, es decir, se asume que el 50 % de la población tiene acceso a la información.

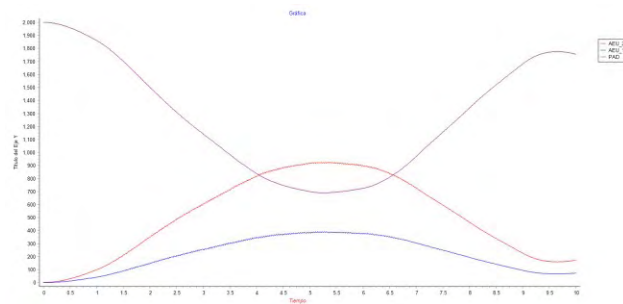


Figura 9. Comportamiento de AEU1, AEU2 y PAD para el escenario 4

En la figura 9 se muestra la respuesta de las variables ante las condiciones del cuarto escenario para el prototipo 3 propuesto al inicio de la sección en la tabla 2. La simulación conserva todas las condiciones iniciales del escenario anterior a excepción de la cobertura de la información al usuario, la cual en este caso es del 80 %.

VI. Discusión

Analizando los escenarios del segundo prototipo, se puede observar en la figura 3 que el primer escenario muestra que los vehículos se congestionan más en la vía 1, esto se debe a que la vía 2 posee mayor capacidad luego el flujo es mayor, lo cual no ocurre en la vía 1. Por otra parte, también se analizó el segundo escenario en el que los dos subsistemas viales tienen las mismas características o la misma capacidad vial, como se puede apreciar en la figura 4. Dado que en este caso se asume que ambas vías presentan la misma capacidad vial, los niveles de congestión alcanzados por ambas vías son iguales, y el pico con el número de vehículos en los subsistemas viales 1 y 2 (trazo azul y rojo respectivamente), corresponde con el valle en el parque automotor disponible (trazo púrpura) y ambas líneas se traslapan, lo que quiere decir que el número de vehículos se comporta igual en ambas vías. Por otra parte, para el prototipo 2, desde el punto de vista del tercer escenario, no muestra una variación significativa en el comportamiento del número de vehículos en los subsistemas viales al variar el número inicial de vehículos en una de las vías, el comportamiento se normaliza en el paso del tiempo y tiende a parecerse al escenario simulado en la figura 3. Finalmente, para este caso, se considera que los resultados obtenidos son satisfactorios debido a que presenta un comportamiento intuitivo de la dinámica de la congestión vial en una hora pico.

Por otra parte, analizando los 4 escenarios del tercer prototipo en los que se hace variar únicamente la cobertura de la Información al Usuario (Cobert_IU) se observa en la figura 6, donde se muestra la respuesta de las variables AEU1, AEU2 y PAD ante las condiciones iniciales del escenario 1. La respuesta obtenida es la misma observada en la figura 1 para el prototipo 2. Dado que en esta primera simulación lo que se asumió es que la cobertura de la información al usuario es nula, es de esperarse que la respuesta de la simulación 1 de los prototipos 2 y 3 fuese igual. En el escenario 2 del prototipo 3 se aumenta en un 20 % la cobertura de la información al usuario. Lo que se puede evidenciar en la figura 7 es que los niveles de congestión ya empiezan a equilibrarse, es válido resaltar que sin información al usuario se presentaba más congestión en la vía 1 (línea azul), como se puede evidenciar en la simulación 1 del prototipo 3. Ahora, una vez considerado el efecto de la información al usuario en el sistema se evidencia que los vehículos se empiezan a repartir de mejor manera en los subsistemas viales. La respuesta obtenida mediante la simulación del escenario 3 se observa en la figura 8. En el tercer escenario del prototipo 3 se mantienen todas las condiciones iniciales a excepción de la condición de la cobertura de la información al usuario; en este caso se establece que la información al usuario tiene una cobertura del 50 % de la población. Para este caso se puede decir que la información al usuario mantiene la capacidad vial de ambas vías siendo empleada de una manera más eficiente. Dado que la vía 2 (línea roja) tiene mayor capacidad, puede albergar más vehículos, por eso la línea roja llega a niveles mayores a comparación de la línea azul (vía 1). Finalmente, en la figura 9 se muestra la

respuesta de las variables ante las condiciones del escenario 4. La simulación conserva todas las condiciones iniciales del escenario anterior a excepción de la cobertura de la información al usuario, la cual en este caso es del 80 %. El comportamiento registrado para este escenario corresponde de manera aproximada al comportamiento registrado en el tercer escenario. Al revisar los valores numéricos se encuentra que la diferencia entre ambos escenarios es muy baja. De los resultados mostrados, el encontrado en los escenarios con cobertura de información al usuario por encima del 50 %, es quizá el comportamiento más interesante dado que tiene un componente contraintuitivo. Se encuentra que el efecto de la información al usuario sobre el número de vehículos en las vías es altamente significativo cuando la cobertura es menor que el 50 % de la población; cuando la cobertura de la información al usuario es mayor que el 50 %, el efecto sobre el número de vehículos en las vías empieza a dejar de ser significativo.

VII. Conclusiones

En condiciones normales, es decir cuando no se aplican políticas que favorezcan las condiciones de vialidad de un sistema, como el sistema representado mediante el prototipo 2, la vía que tiene menor capacidad presenta mayor nivel de congestión en horas pico. El hecho de adoptar una medida como lo es el suministro de la información sobre el estado de congestión de un sistema vial favorece de manera positiva el uso de los subsistemas viales haciéndolos más eficientes al repartir el número de vehículos en cada subsistema según la capacidad de cada vía. Un punto interesante que hay que tener en cuenta es que se encuentra que la influencia de la Información al Usuario, con coberturas por encima del 50 % de los usuarios del sistema vial, no es significativa y que la diferencia numéricamente puede ser despreciable.

VIII. Referencias

- [1] L.C. Bazzan and F. Klugl, "A review on agent-based technology for traffic and transportation," *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 29:3, pp. 375–403, May 2013
- [2] S. Garda and D. Weston, "Integrated traffic information system for Urban/ Inter-Urban traffic management", *Efficient Transportation and Pavement Systems*, Taylor & Francis Group, London 2009
- [3] Support Google, "¿Cómo funciona Waze? [online]. España. Disponible en: <https://support.google.com/waze/answer/6078702?hl=es>
- [4] de Palma, A., Ben-Akiva, M., Brownstone, D., Holt, C., Magnac, T., McFadden, D., Moffatt, P., Picard, N., Train, K., Wakker, P. & Walker, J. "Risk, uncertainty and discrete choice models". *Marketing Letters* vol 19, pp. 269–285. 2008.
- [5] O. Figueroa and S. Reyes, "Transporte y Calidad de vida en las ciudades latinoamericanas. Sus relaciones con el uso de suelo y la contaminación Urbanas" *Revista eure* vol. XXII, NQ 67, pp. 29–44, Diciembre. 1996.
- [6] I. Thomson and A. Bull, "La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales," *Revista de la CEPAL*, vol. 76, pp. 109–121. Abril. 2002.
- [7] F. Klügl and G. Rindfuser, "Agent-based Route (and Mode) Choice Simulation in Real-World Networks", *IEEE/WIC/ACM International Con-*

ference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, pp. 22–29,
France. 2011.

Modelo de productividad de una granja avícola usando Dinámica de Sistemas

Jaime Torres Flórez –jaimetoflo@yahoo.com

Carlos Parra Ortega – carapa@unipamplona.edu.co

Universidad de Pamplona, programa de Ingeniería de Sistemas

Resumen— La industria avícola es un sector muy dinámico de la economía, donde deben tomarse decisiones con relativa rapidez en cuanto a políticas de cría de aves, asignación de recursos, reposición de lotes de alimento, producción y gestión del dinero. Diversos esquemas de modelado de producción se han utilizado, basados principalmente en enfoques basados en eventos discretos o en otras técnicas estadísticas enfocadas en la extrapolación de datos históricos. Un enfoque basado en Dinámica de Sistemas se propone en este trabajo, para ilustrar la interacción de diversos ciclos asociados a la producción avícola, como lo son la vida productiva de las aves, la reposición de inventarios, la postura y demanda; y su comportamiento bajo el efecto de ciertas decisiones. Se experimentaron diversos escenarios para pequeños productores y el análisis de los resultados también se trata este documento.

Palabras clave— industria avícola, ciclo de vida de las aves, producción de huevos, dinámica de sistemas, reposición de inventarios.

Abstract— The avicultural industry is a dynamic sector of economy, where some decisions must be taken fastly, according to policies of bird breeding, resource asignment, replacement of food, egg production and money management. Some egg- production models are developed, based on discrete-event approach, or another statistical techniques using historical data extrapolation. A system dynamics approach are proposed in this work, in order to show the interaction of some cycles related with avicultural production. Example of these cycles are the life of birds, replacement of food consumed, egg production, demand of egg and the effect for some decisions. Some scenarios were tested, simulating small producers and some results were analyzed for this document.

Keywords— avicultural industry, life cycle of birds, egg production, system dynamics, inventory replacement.

I. INTRODUCCIÓN

La industria avícola es un sector muy dinámico, puesto que suple en buena parte las necesidades de proteína animal a

la población en general, sin importar su ubicación geográfica. Durante muchos siglos las personas han consumidos huevos ya que es una fuente de proteína que casi siempre está disponible y gracias a los adelantos en tecnología pecuaria su rendimiento ha ido en aumento.

Se han ensayado diversos enfoques para modelar la producción de granjas dedicadas a la producción avícola, basándose principalmente en métodos estadísticos o basados en eventos discretos, destacándose el trabajo de Paz [1], Ochoa y Ramírez [2], Revidatti et al [3].

Un enfoque basado en dinámica de sistemas se propuso para un sistema integrado avícola y pecuario, aunque con límites en cuanto al tamaño de la granja, o enfocándose en la producción sostenible para el autoconsumo del pequeño productor.

En el presente trabajo se analizarán diversos escenarios de producción avícola, teniendo en cuenta la interacción de varios ciclos de realimentación: el ciclo de vida y reemplazo de las aves, de acuerdo a datos suministrados por criadores de aves, así como el reemplazo de los alimentos que son consumidos [4] y [5], los ciclos de postura de aves suponiendo que consumen el alimento adecuado, los ciclos del control de inventario de alimentos y del dinero disponible. Como ejemplo, se tendrán en cuenta datos de ave de la raza ponedora Hy-Lyne, de la cual se tienen datos de crecimiento y producción. Un modelo base es presentado, al igual que los resultados de los diversos escenarios de simulación.

La organización del trabajo es la siguiente: en la Sección II se explican las características principales de la herramienta. La Sección III muestra detalles de la implementación La Sección IV muestra un caso de estudio modelado con la herramienta de software desarrollada. Finalmente, se pueden encontrar las conclusiones en la Sección V.

II. DESCRIPCIÓN SISTÉMICA DE LA EXPLOTACIÓN AVÍCOLA

Tomando como base la producción intensiva de huevos de la gallina de raza Hy-Line Brown [5], destinada a la comercialización, el siguiente sistema se considera una aproximación inicial al modelo de explotación. Para ello se van a considerar cuatro subsistemas

¹ M. S. M. A. Notare, Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE América Latina) Editor-in-Chief, IEEE South Brazil, FAERO Technology University, mirela@ieee.org

² M. S. M. A. Notare, Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE América Latina) Editor-in-Chief, IEEE South Brazil, FAERO Technology University, mirela@ieee.org

que están interactuando entre sí: la población de aves, el inventario de huevos, el alimento disponible y el capital de inversión. En la figura 1 se puede apreciar la interacción de estos subsistemas.

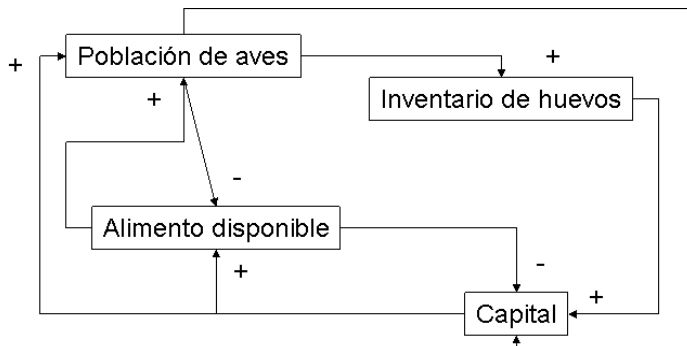


Figura 1. Interacción de los subsistemas en una granja de producción avícola.

Las flechas indican la influencia que ejercen los subsistemas sobre los demás, teniendo en cuenta que al desagregarse aumentará la complejidad de las interacciones.

La población de aves afecta directamente el alimento disponible mediante el consumo, mientras que esta cantidad de alimento limitará el tamaño de la población de aves que se puede sostener. La población de aves afectará la cantidad de huevo producido, los cuales mediante ingresos ejercerán influencia sobre el capital de inversión. Cada vez que hay compras de aves para producir, o reposición del alimento consumido también se afecta el capital disponible disminuyéndolo.

En cada uno de los subsistemas relacionados con las etapas productivas de las gallinas, se tuvo en cuenta factores de tasas de muerte y de consumo de alimento, el alimento consumido en cada una de las etapas descritas en este modelo varía con respecto al precio y tipo del mismo.

A. Subsistema de maduración y ciclo de vida de las aves.

Cuando se tienen aves para la postura de huevos, se requiere de que entre una gran cantidad de ellas en producción al mismo tiempo, y que además se permanezcan en esta etapa el mayor tiempo posible. Dado que en el negocio de avicultura es difícil obtener aves en producción, es necesario comprar un lote de gallinas recién nacidas (incubadas) y criarlas. La siguiente lista muestra las etapas en el ciclo de vida de las gallinas cuya finalidad es la puesta de huevos [4]:

- Pre-iniciación: día 1 a 14 de vida.
- Iniciación: día 15 a semana 8 de vida.
- Levante: semana 9 a 16 de vida.
- Prepostura: semana 17 a la 24 de producción

- Producción: semana 25 a la semana 80

Cuando el ave cumple 80 semanas de edad es sacada del galpón, y se reinicia el proceso de cría nuevamente con otro lote de recién nacidas. El siguiente esquema que se muestra en la figura 2 muestra una primera aproximación al subsistema de población de aves, donde se grafica la relación entre cantidades de aves en cada etapa de su vida, así como las aves que se sacrifican una vez finaliza el ciclo productivo. Una vez sacrificadas, se inicia el ciclo de cría nuevamente.

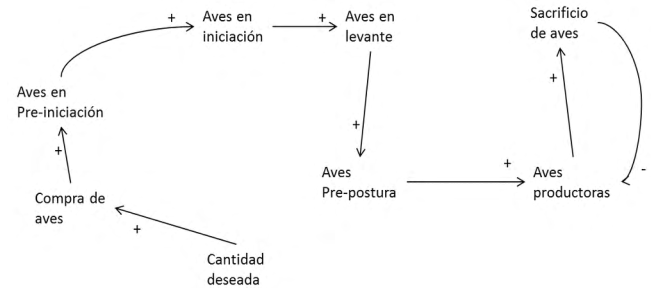


Figura 2. Diagrama causal del subsistema de población de aves.

Con el fin de profundizar en la primera aproximación, se detalla el paso de la maduración de las aves de iniciación a aves de levante. El diagrama causal que se muestra en la figura 3 permite apreciar las variables que se van agregando. Conviene aclarar que el mismo esquema se aplica para todas las etapas de maduración de las aves, y cada una tiene sus propias tasas de mortalidad de acuerdo a la edad. Las aves que pasan a la etapa de levante son las que no murieron naturalmente durante esta etapa de cría.

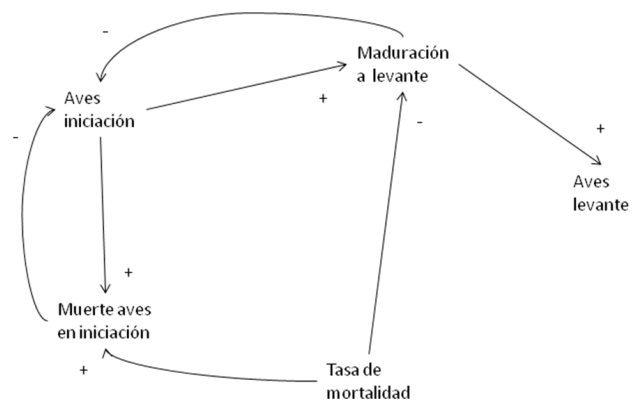


Figura 3. Diagrama que detalla la maduración de aves de iniciación a levante.

B. Subsistema de control de inventario de alimentos.

El consumo de alimentos es un factor muy importante en la cría de aves, ya que en una granja de tamaño medio pueden existir miles de ellas alimentándose todo el tiempo. El diagrama de la figura 4

muestra el esquema típico de control de inventario de alimentos en una primera aproximación. Vale la pena destacar que las aves tienen unos requerimientos nutricionales diferentes en cada época de su vida, de manera que son varios los inventarios que deben manejarse en una granja y la estructura mostrada debe replicarse para cada etapa de la crianza de aves. Además de alimento, las aves también tienen requerimientos de agua, vacunas, entre otros aspectos.

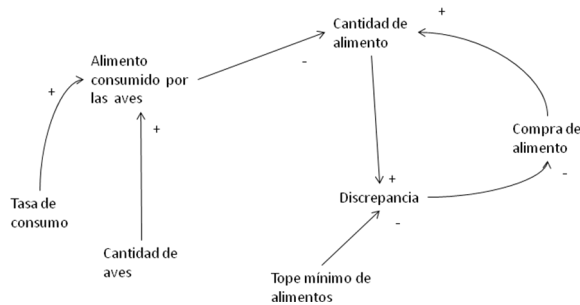


Figura 4. Diagrama causal que muestra el control de la cantidad de alimentos.

C. Subsistemas de producción y financiero.

Otros subsistemas a tener en cuenta lo son los de la cantidad de huevos, asociado a la cantidad de aves en producción, y el dinero disponible, afectado por ingresos y egresos derivados de las ventas de huevo, compras de alimento y aves, al igual que otros gastos. La figura 5 muestra las variables asociadas a estos subsistemas, aclarando que algunas variables pertenecen a otros subsistemas, por lo que se complementan. Existen algunos ciclos asociados a producción de huevos y compras. Otros ciclos adicionales al sistema surgen cuando se acoplan todos los subsistemas y forman el sistema completo.

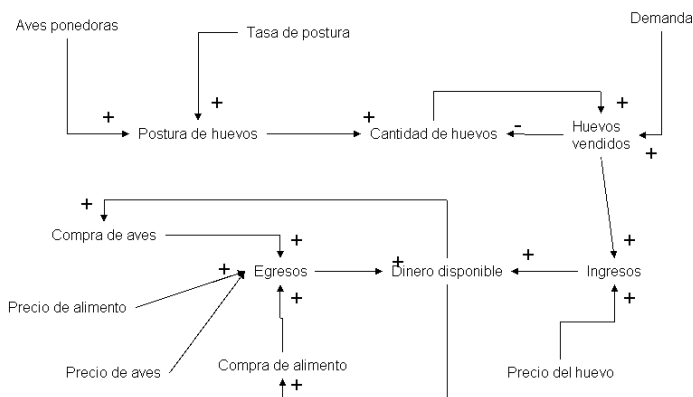


Figura 5. Diagrama causal que muestra la primera aproximación al subsistema de producción y el financiero.

Una vez aplicados los procesos de agregación correspondiente se tiene un modelo causal completo que explica el comportamiento

de este sistema, indicando que la demanda se está considerando como aleatoria y externa, al igual que ciertos factores que afectan la mortalidad de las aves en cada etapa de su vida.

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

Para la simulación del sistema de producción se utilizó la metodología propuesta por Aracil y Gordillo [6] y el programa Evolución 4.0. Para el modelado y simulación con Dinámica de Sistemas [7]. Se plantearon seis subsistemas, cinco de ellos están basados en las etapas de producción del proceso tomadas por semana, y uno de ellos relaciona los ingresos y egresos de dinero, debemos tener en cuenta que los egresos están relacionados con las compra de insumos pollas bebes (en etapa 0) y alimento en cada una de las etapas, los ingresos solo se empiezan a obtener al principio de la etapa de postura de las aves, en la semana 24, hasta su finalización en la semana 75, con algunas variaciones que se dan en la tasa de postura durante toda esta etapa del proceso.

En cada uno de los subsistemas relacionados con las etapas productivas de las gallinas, se tuvo en cuenta factores de tasas de muerte y de consumo de alimento, el alimento consumido en cada uno de las etapas descritas en el modelo varía con respecto al precio y tipo del mismo.

En la primera etapa del ciclo de producción, se observa como el proceso de producción de las aves se inicia con su compra, esta compra tiene implicaciones en el capital total disponible, dependiendo del precio en el mercado por cada polla en etapa cero, igualmente la compra de alimento y el consumo del mismo que está en promedio en 0.03 kilos de alimento diario para cada ave, esta cantidad se incluyó como una tasa de consumo en nuestra simulación), también hay factores como la tasa de muerte de las pollas durante las semanas de esta fase productiva, que se estima en 0.05 por semana y afecta de manera directa la población de aves en esta etapa. Un fragmento de la descripción anterior se aprecia en el diagrama de Forrester presentado en la figura 6.

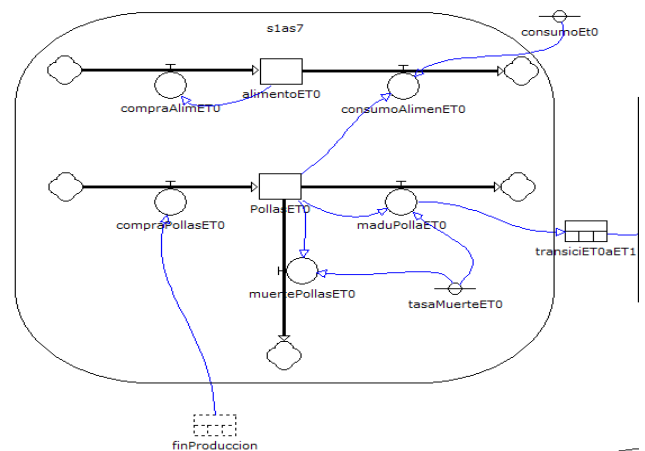


Figura 6. Diagrama de Forrester de la fase de iniciación.

Con el diagrama de Forrester incluido, se puede apreciar de manera más detallada los procesos durante esta etapa de producción, en este vemos la relación que hay desde la compra de las aves en la etapa 0 tomada como una variable de flujo, estas empiezan a ser parte de población de pollas en etapa 0 que se observa como una variable de nivel en nuestro diagrama y su maduración, variable de flujo que disminuye la población de pollas en la etapa 0, la maduración de las pollas en etapa 0 implica su paso a la etapa de levante que va desde la semana 8, hasta la semana 16.

El paso de la fase de iniciación a la fase del levante, que es la siguiente fase según el orden de producción, implica un retardo. Esta nueva fase implica el cambio de las tasas de consumo y muerte de la población de aves, en promedio el consumo de alimento de las gallinas Hy-line Brown en esta etapa es de 0.05 kilos de alimento diario y su tasa de muerte en promedio viene dada como el 2% de la población total.

La etapa productiva de postura se inicia desde la semana 24, al principio de la postura se deben incluir más aspectos relacionados con todo el proceso productivo, como por ejemplo, la población de gallinas en las etapas de inicio de postura hasta el fin de producción está relacionada de manera directa con la postura de huevos, la cantidad y el precio del mismo es lo que genera ingresos, lo que hace de este un sistema productivo consistente; por este hecho se incluyeron variables adicionales, que están relacionadas con el sistema financiero del modelo base. En la figura 7 se muestra un fragmento del diagrama de Forrester que describe lo anteriormente mencionado.

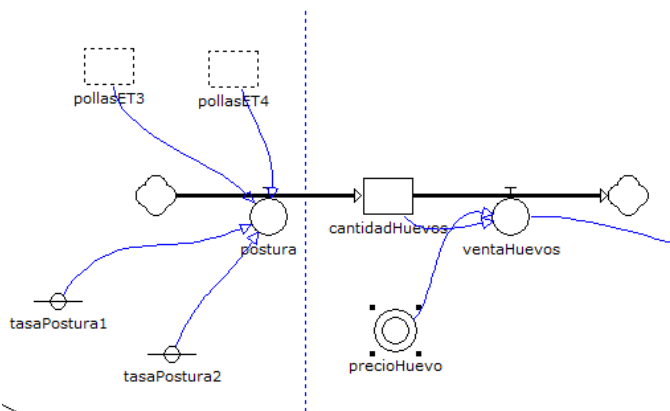


Figura 7. Diagrama de Forrester de la producción de huevos.

El precio del huevo depende del mercado global, por lo cual se toma como una variable auxiliar con el valor de 300 COP, la cantidad de huevos y el precio en el mercado determinan la cantidad de ingresos que se obtiene durante el proceso. La cantidad de huevos es una variable de nivel que se disminuye con la venta de huevos, que es nuestro diagrama de Forrester mostrado en la figura 8, se representa como una variable de flujo que a su vez incrementa los ingresos, que incrementa el capital disponible, indispensable para la retroalimentación del ciclo productivo.

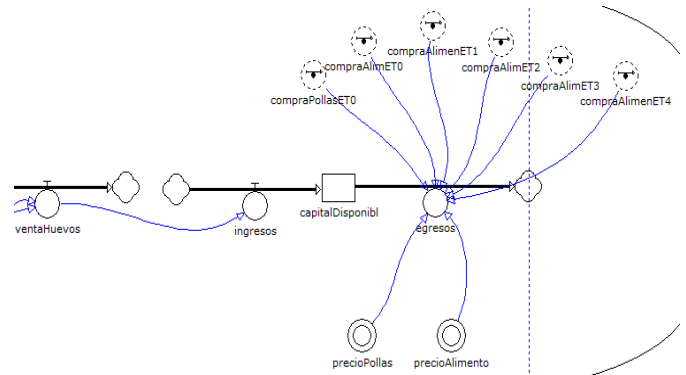


Figura 8. Diagrama de Forrester del subsistema financiero

El capital disponible, una variable de nivel, se ve disminuido con los egresos (salida de dinero), esto es ocasionado por la compra de alimento en cada una de las etapas del proceso, y el valor de las pollas en etapa 0, además de otro factores no tenidos en cuenta en este trabajo.

El fin de un ciclo de producción viene dado luego que termina la última semana productiva de las gallinas, para este caso en la semana 80, donde se presume la producción de huevos casi se estabiliza en relación con los costos del mantenimiento de las gallinas, lo cual no es muy productivo.

IV. SIMULACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El software evolución 4.0 proporciona un sistema de simulación del sistema dinámico basado en las relaciones de las variables, flujos y subsistemas que conforman el sistema en su totalidad, en este se puede generar graficas de las funciones del comportamiento de las variables, con respecto al tiempo, o con respecto a otras variables. En este caso se definen valores iniciales a variables de nivel tales como cantidad de dinero disponible inicializada en 5'000.000 COP, cantidad de pollas en etapa 0 con un valor de 1000 para marcar el inicio de la producción, el precio de venta en el mercado de los huevos con valor de 300 COP. En cada paso de etapa se asigna un retardo, con el fin de hacer más real esta simulación, cada retardo esta dado en semanas representando el número de semanas de cada etapa, en cada una de las cuales se asignó una tasa de muerte de la población total de gallinas considerando factores de madurez de las mismas; por ejemplo en las primeras semanas del ciclo de vida de las pollas la tasa de muerte es mayor en comparación con las demás semanas, esto es debido a las adaptaciones que deben darse en las gallinas para el ambiente de producción. Esto llevó a asignar un valor promedio de tasa de muerte en las primeras semanas de 0.03 por semana, en la mitad del proceso productivo (semana 17-50) la tasa de muerte disminuye, teniendo en promedio muertes del 0.015 de la población de gallinas por semana, en cuanto al final del proceso esta tasa de mortalidad sigue disminuyendo.

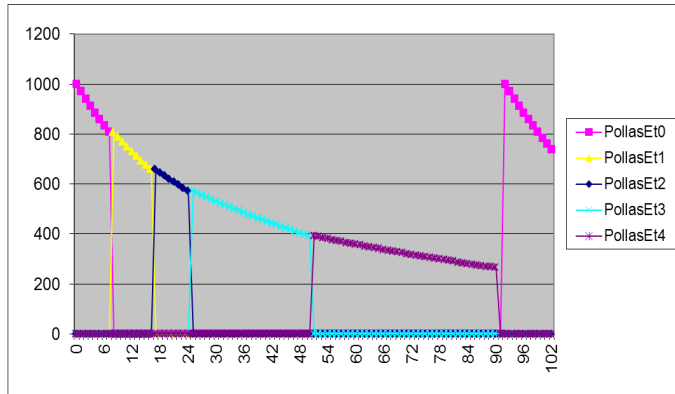


Figura 9. Gráfica de la población de gallinas en función del tiempo.

En la figura 9 se observa la disminución de la población de gallinas debido a las tasas de mortalidad, también se muestra al finalizar un ciclo de producción, se vuelve a hacer la compra de gallinas en etapa 0 con el fin de empezar un nuevo ciclo de producción. Esta población de aves está afectando de manera continua al inventario de alimentos, los cuales son perecederos. En la figura 10 se muestra el comportamiento de las cantidades de alimento disponible para las etapas 4 (productora) y 2 (levante), donde la disminución corresponde a los consumos, y los aumentos a la reposición de inventarios, respectivamente.

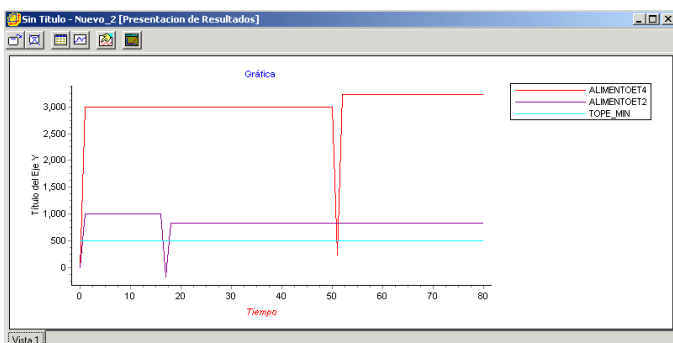


Figura 10. Cantidad de alimentos por etapa, en función del tiempo.

Otras de las variables que es de gran importancia es el capital disponible, su comportamiento a través del proceso productivo representa en sí la razón de ser del proceso, dado que el interés radica en incrementar el capital obteniendo ganancias con la venta del producto final del proceso, los huevos. El capital disponible depende directamente de los egresos, estos se dan con la compra de insumos: Pollas etapa 0 para el inicio del proceso de producción, y en cada uno de las etapas del proceso con la compra de alimento. En este trabajo no se tuvo en cuenta inversiones tales como entorno de producción (galpones), transporte, costos de producción, etc.

A continuación se muestra la figura 11 que relaciona el capital disponible, ingresos y egresos durante las semanas del proceso productivo. Se puede observar en el inicio del proceso disminuye

el capital disponible debido a la primera compra de las pollas en etapa 0, también por la compra del respectivo alimento que se debe hacer en cada una de las etapas del ciclo de producción. Los ingresos se empiezan a recibir a penas empieza el periodo de postura de las gallinas. Se evidencia para este caso, que los ingresos superan los egresos, teniendo en cuenta la inversión realizada desde el principio del proceso de producción.

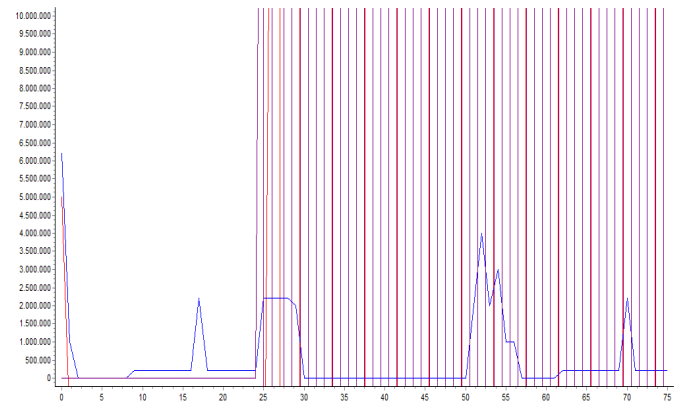


Figura 11. Gráfica de los ingresos, egresos y capital disponible.

Como se mencionó anteriormente el ciclo de postura de las gallinas se inicia aproximadamente en la semana 25 y se da hasta el fin de la semana 75, esto varía dependiendo del ciclo de producción por semanas adoptado por el productor, en este caso se hizo de esta manera, unas de los factores de producción a tener en cuenta es el desempeño de las gallinas en sus etapas de postura, ya que este varía.

En razón a esto se pueden identificar las semanas de postura más productivas de las gallinas con el fin de determinar en qué parte del proceso de producción se debe registrar más ingresos, y desde que punto se vuelve poco factible mantener la población de gallinas debido a su baja de producción de huevos.



Figura 12. Porcentaje de producción de huevos por semana.

En la figura 12 se observa el porcentaje de postura de las gallinas hy-line dado por semanas; se puede deducir que las semanas con más producción de huevos esta entre las semanas de postura 5 a 30, es decir, de la semana 30 a la semana 55 del ciclo de pro-

ducción. Luego de estas semanas empieza disminuir el porcentaje de producción de huevos. Para este estudio, se tuvo en cuenta la producción hasta la semana 75 donde se considera que la baja en la producción de huevos no hace factible seguir con dicho ciclo de producción. Por otro lado, antes de terminar un ciclo productivo se inicia uno nuevo con la compra de pollas en etapa 0 y así se reinicia otro ciclo productivo.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha modelado de manera dinámica el comportamiento de un sistema de producción avícola concentrado en la producción de huevos, demostrando que se puede aplicar Dinámica de Sistemas a modelos pecuarios de mediana complejidad, ya que la existencias de lazos de control al interior del modo de explotación pecuaria facilita su aplicación.

Este modelo es aplicable a diversas granjas de producción avícola actual y tiene como fin hacer que este proceso productivo se realice de manera controlada permitiendo conocer el comportamiento final del sistema y así tomar decisiones relacionadas con la planificación presupuestal, asignación de recursos y políticas de reposición de inventarios, además de esto, se busca también la retroalimentación en cada nuevo ciclo productivo.

La simulación de sistemas dinámicos de producción permiten observar de ante mano el comportamiento de varios subsistemas relacionados entre sí, teniendo la oportunidad de analizar y tomar decisiones que afectarían el desempeño total del sistema a plazo mediano.

VI. REFERENCIAS

[1] J. PAZ., “Creación de un modelo de simulación para una granja avícola para evaluar la rentabilidad de esta y como soporte a la toma de decisiones”, Tesis. Instituto Tecnológico de Monterrey, México, pp. 29-33, 2007.

[2] H. OCHOA, F. RAMÍREZ, “Cambio del programa de alimentación del pollo de engorde y su efecto económico en el tiempo y peso del mercado”. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Universidad Nacional, Medellín, Vol 48. Núm 2, 7-39. 1995.

[3] F. REVIDATTI, J. RAFART, R. FERNÁNDEZ, J. TERRAES, R. SANDOVAL. “Rendimiento reproductivo en cruzamientos entre razas tradicionales productoras de huevo y carne”. InVet, Vol 7. No. 1, Buenos Aires, 2005.

[4] <http://www.solla.com/productos/avicultura/ciclo/>

[5] <http://www.hy-line.com>

[6] J. ARACIL, F. GORDILLO. “Introducción a la Dinámica de Sistemas”. Alianza Editorial, Ciudad de México, 1995.

[7] <http://simon.uis.edu.co/index.php/evolucion>

Ambiente De Dinámica De Sistemas Para El Aprendizaje Y Toma De Decisiones En Piscicultura – Pesco 3.0

Andrés Maldonado, Luis E. Guerra, Carlos A. Vásquez y Hugo H. Andrade
Universidad Industrial de Santander - Colombia

Resumen— El Grupo SIMON busca estrategias para integrar la Dinámica de Sistemas en los procesos de aprendizaje en los niveles desde preescolar hasta la educación Superior. Una de estas estrategias la implementa PESCO, un ambiente software para el aprendizaje y la toma de decisiones con la temática de Piscicultura. PESCO está soportado en un conjunto de modelos de Dinámica de sistemas (DS) que facilitan la simulación, con diferentes niveles de complejidad, del proceso productivo de peces en estanque. El ambiente de Pesco se difunde mediante un sitio web, en el cual se da a conocer toda la información que complementa la estrategia educativa. Esta ponencia presenta el proceso que ha tenido este desarrollo, hasta la versión 3.0, la cual incorpora las características de las anteriores y como novedad se encuentra el acceso desde navegadores de escritorio a niveles de juego que permiten una mayor interacción a lo largo del progreso y la participación de un colectivo de productores en modalidad asociativa para participar en el mercado.

Palabras clave— Dinámica de Sistemas, Ambiente educativo, Piscicultura, toma de decisiones.

I. INTRODUCCIÓN

En las labores de investigación del Grupo SIMON de Investigación¹ en escuelas de diversas zonas rurales del país surgió la idea de crear un ambiente software para el aprendizaje que involucre el uso de teléfonos móviles, el uso de la web y los computadores disponibles en las escuelas. El teléfono móvil es un dispositivo habitual en las familias de estas zonas y se encuentra en un avance tecnológico constante. A raíz de este hallazgo, este ambiente surge inicialmente como trabajo de grado en el marco de una propuesta de integración del modelado y la simulación al ambiente escolar y en la búsqueda de estrategias pedagógicas para promover el desarrollo de competencias laborales, en particular la de toma de decisiones.

Explícitamente buscó suministrar herramientas software para atender la siguiente pregunta:

¿Cómo puede ser un ambiente software que permita al estudiante vivir experiencias virtuales para aprendizaje y de desarrollo de competencias, en las cuales se distinga el papel de la escuela, la gestión de un sistema productivo y la comercialización de su producción; usando modelado y simulación con DS?

El objetivo del ambiente es el de integrarse a los procesos de aprendizaje inicialmente en las escuelas. Posteriormente, con el desarrollo de nuevas versiones, el ambiente fue explorado en otros contextos. Por ejemplo, en el Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia -IPRED se usa con estudiantes de programas técnicos, tecnólogos y profesionales para profundizar en temáticas de piscicultura y en el uso del modelado y simulación. Así el ambiente encontró el nuevo objetivo de promover la integración de la DS a los procesos de aprendizaje en agroindustria convirtiéndose en una herramienta de apropiación de la DS y promover el pensamiento dinámico- sistémico.

El ambiente ha pasado por diversos prototipos desarrollados a través de trabajos de grado en el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, encontrándose actualmente en desarrollo la versión 3.0.

II. AMBIENTE DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA EL APRENDIZAJE Y TOMA DE DECISIONES EN PSISCICULTURA - PESCO 3.0

Con una tercera versión del ambiente se pretende implantar niveles de complejidad en el sistema productivo considerando factores propios de la producción de peces y del mercadeo de los mismos. En Pesco (Figura 1), se desea agregar aparte de las acciones establecidas por anteriores versiones, la opción de suministrar la ración de alimento y la modalidad de participación asociativa. Además, se incorporan nuevas ayudas visuales que apoyan al proceso, se amplía la cantidad de información visible sobre el modelo productivo y se agregan funcionalidades como un reporte actualizado de costos y un resumen en mayor detalle cuando se ha vendido toda la producción.

¹ Grupo SIMON de Investigaciones en Modelamiento y Simulación, Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia.



Figura 1: Vista del escenario principal de Pesca.

El mapa de Pesca está dividido en 4 espacios donde se realizan las acciones del juego: insumos, estanque, mercado y gremio.

En el primer espacio, se puede comprar los peces y el alimento que se sumará al inventario para luego ser suministrado durante la producción (Figura 2). La simulación inicia al momento de comprar los alevinos y la experiencia continúa en el segundo espacio.



Figura 2: Vista área de insumos

En el estanque, se puede hacer un seguimiento del crecimiento y los costos asociados junto a la manipulación de la ración alimenticia a suministrar por pez (Figura 3). En cada iteración que representa un día, el sistema calcula la ración requerida en función de la biomasa² del estanque y de la temperatura.



Figura 3: Vista del estanque

En cualquier momento el jugador podrá ir al mercado para consultar el precio por kilogramo que se ofrece y un cuadro informativo de referencia. El usuario ingresa la cantidad de peces que desea vender y el sistema calcula el peso que representa dichos peces junto al dinero que recibirá (Figura 4).



Figura 4: Vista área del mercado

En el área del gremio, se podrá responder a una demanda fija mediante la asociación con otros jugadores para coordinar los tiempos en que cada uno llevará su producción a venta y así contribuir al cumplimiento del encargo.

Los niveles se han ideado de tal forma que las decisiones de uno contribuyan al siguiente, iniciando en un escenario de producción de un pez con un sistema automatizado para continuar con el efecto de la alimentación en el crecimiento en peso. Luego se inicia la producción en lote y se incorpora el impacto de la temperatura y el oxígeno en la producción para finalizar en la modalidad asociativa. Así, este trabajo aborda una continuidad de un trabajo más profundo del ambiente que emplea el usuario y que genera un

aprendizaje lúdico.

Con el objeto de reducir las limitaciones de acceso a causa de la arquitectura de los dispositivos y aprovechando la tecnología actual, los productos software se fusionarán y se llevarán a una implementación web. La idea es que por medio de un cliente que contenga un navegador de escritorio se acceda al sitio web donde está contenido el juego, allí el usuario interactúa con Pesco y maneja su sistema productivo. Entre el sitio web y un servidor habrá comunicación para el proceso de venta (Figura 5).



Figura 5: Acceso al ambiente y ubicación de modelos.

III. INICIOS DEL AMBIENTE Y SUS VERSIONES

La versión 3.0 del ambiente viene de un proceso de desarrollo desde una idea inicial que surgió a partir de las labores de investigación del Grupo SIMON. Estas versiones han desarrollado los productos software y los modelos en Dinámica de Sistemas que han sido base para las nuevas versiones. El primer acercamiento al estado actual del ambiente se dio en 2009 con el desarrollo de un trabajo de grado [1] en el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander. Este trabajo consistió en un juego para teléfonos móviles mediante el cual se permite al usuario iniciar un proceso de ceba de un pez o un conjunto de peces, observar el desarrollo de su crecimiento y vender a un mercado vía Internet; una aplicación para computador personal que permite al usuario ver contenidos con temáticas del sistema productivo, experimentar mediante los modelos con Dinámica de Sistemas asociados a estas temáticas y la posibilidad de administrar estos contenidos; y un sitio web que ofrece información teórica sobre dinámica de sistemas, registro de usuarios, uso de foros y las descargas del juego, la aplicación para computador personal y manuales de instalación de estas aplicaciones.

La arquitectura propuesta (Figura 6) para la ejecución de los productos software consistió en: Un dispositivo móvil con un juego educativo llamado PesCo, un programa de escritorio llamado *Micromundo de aprendizaje de sistemas productivos - MASIP* y un Sitio web con los contenidos temáticos relacionados y un mercado

virtual que permitía a los diferentes usuarios vender la producción desde el juego en sus teléfonos móviles.

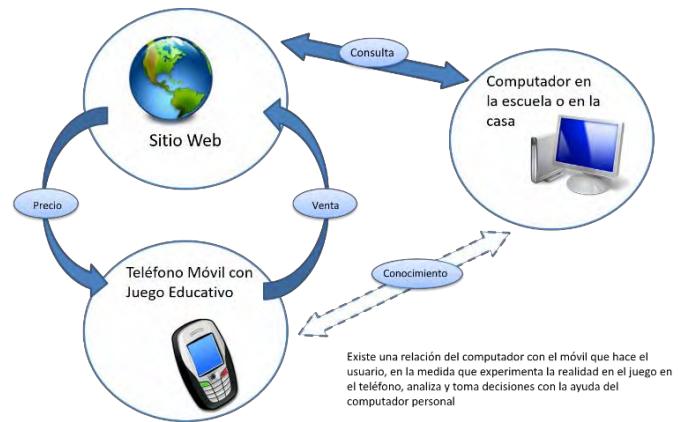


Figura 6. Diagrama comunicación de elementos.
Fuente: Guerra y Ríos [1], Universidad Industrial de Santander

Los modelos en Dinámica de Sistemas que describen el comportamiento del proceso productivo de los peces se implementaron en el código fuente de Pesco. El juego permite participar con acciones de compra de alevinos, compra de alimento, supervisión de crecimiento y venta de la producción en el momento adecuado de acuerdo con el juicio del jugador y el precio en el mercado (Figura 7).



Figura 7. Pesco Versión 1
Fuente: Guerra y Ríos [1], Universidad Industrial de Santander

En MASIP se facilitó la administración de usuarios, contenidos y temas. Permite el acceso a material teórico y contenido multimedia de la temática seleccionada, y a los modelos que operan en el ambiente software. En el sitio web, se detalla la información sobre el desarrollo del proyecto, los manuales y descarga de los productos, y se ofrece la herramienta de foros.

A través de un segundo trabajo de grado se dio mantenimiento al software del ambiente, aplicando correcciones y agregando nuevas funcionalidades [2]. Para la segunda versión de Pesco, se implementó la experiencia de juego en dos niveles. Cada nivel responde a un modelo productivo: el primero corresponde al crecimiento de un pez y el segundo el de un estanque de peces. También se mejoró

² Biomasa: Peso total del conjunto de peces en un estanque.

la visualización de la información y se implementaron de sesiones de juego (Figura 8).



Figura 8. Pesco Versión 2

Fuente: Castro y Zambrano [2], Universidad Industrial de Santander

Una sesión es un juego restringido con conjunto de parámetros que se establecen para las partidas de juego de los jugadores integrados a la misma bajo la dirección de un docente encargado de incorporar a sus integrantes y definir los tiempos de iteración (la representación de tiempo real en el modelo) del mercado y del mismo juego. De este modo, cuando un jugador inicie su juego tendrá la posibilidad de acceder a las sesiones a las cuales ha sido vinculado y participar en conjunto sólo con los miembros de la sesión seleccionada. También se dejó una sesión global en la cual podía participar cualquier jugador sin restricción alguna.

En MASIP se dividieron las vistas de acuerdo con el rol del usuario en niveles de lector, experimentador e investigador. El nivel lector ofrece documentos para conocer fundamentos teóricos, el nivel experimentador permite efectuar la experimentación simulada de los fenómenos en estudio y el nivel investigador permite conocer los modelos matemáticos

que sustentan los experimentos que simulan. También se adicionaron simuladores del juego móvil, donde se toman datos tanto del mercado (en el sitio web) así como del juego en el celular. Para recrear el escenario en el cual se encuentra el jugador, se incluye un panel de preguntas guía y preguntas puntuales, un glosario de términos y la exportación e importación de contenidos.

IV. LA DINÁMICA DE SISTEMAS EN EL AMBIENTE DE APRENDIZAJE EN PISCICULTURA

El ambiente ha venido haciendo uso de modelos en Dinámica de Sistemas desarrollados al interior del grupo SIMON con propósitos de representar los fenómenos de crecimiento de peces y la dinámica de la oferta y demanda en este sector. Los modelos con DS también han sido usados para apoyar el aprendizaje de la piscicultura en los estudiantes. En las versiones iniciales del ambiente, se empezó por el uso del modelo de crecimiento de un pez y luego se agregó el modelo de crecimiento de un estanque de peces.

Los prototipos parten del conocimiento científico existente alrededor del cultivo de peces. Posteriormente, con la incorporación de expertos en el tema, los modelos se fueron mejorando. La piscicultura es la acuicultura de peces, actividad que busca aprovechar las condiciones y recursos de un espacio para la crianza, ya sea con fines comerciales, nutricionales, poblacionales u ornamentales [3]. La dinámica de esta labor depende directamente de la biología de la especie en cría y de la eficiente administración de los elementos necesarios para la subsistencia del individuo.

Inicialmente se conoce que el crecimiento de un pez está relacionado con su alimentación y se asume que entre mayor sea el alimento más rápido será su desarrollo [3]. En el modelo este aumento del peso se modela como un factor de conversión que se define como la relación entre el alimento que se le proporciona al pez y la porción de ese alimento que se convierte en carne. A partir de esto se plantearon las relaciones dinámicas mostradas en la Figura 9, para luego irse desarrollando los modelos bajo una metodología de prototipos que incluye nuevos elementos en cada nuevo prototipo.

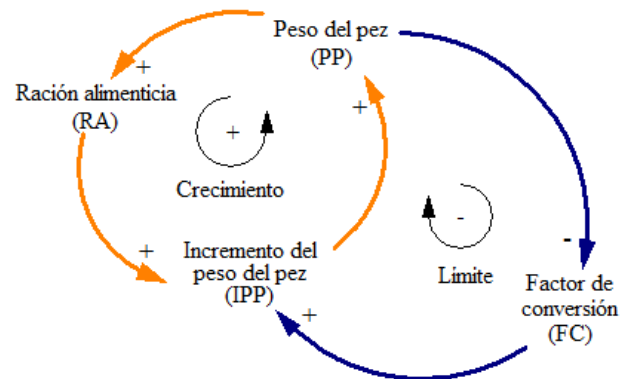


Figura 9: Diagrama influencias crecimiento de un pez.

El modelo de crecimiento de un pez contempla el crecimiento del pez como el incremento del peso del pez (PP) en función de una ración alimenticia diaria (RA) proporcionada al pez, el factor de conversión (FC) de dicha ración alimenticia y un peso máximo que puede alcanzar el pez. En el modelo se añadieron elementos para calcular los costos para llevar el pez a un peso deseado y las utilidades de venta de un pez de acuerdo con un precio externo. La Figura 10 muestra el diagrama de flujo-nivel en sectores del prototipo del modelo de crecimiento de un pez.

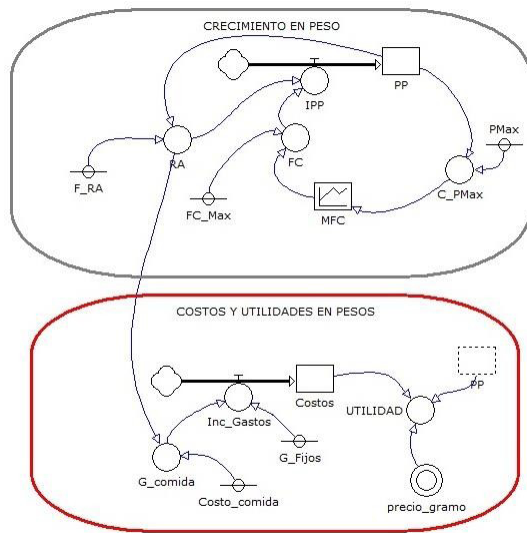


Figura 10: Modelo de crecimiento de un pez.

Con el desarrollo de nuevas versiones del ambiente y sus modelos y con la asesoría del experto en piscicultura, se tomó en cuenta que la ración alimenticia requerida por un pez en un determinado peso no es siempre una proporción constante del peso del pez, y no necesariamente la porción de alimento que se le suministra va a ser convertida por el pez en carne; una parte de la ración va a dirigirse a cubrir primero las necesidades del pez para su sostenimiento. La rapidez en el crecimiento del peso del pez depende de más elementos como la calidad del agua, la calidad y cantidad del alimento, forma de suministro y la temperatura del agua [3].

Para la realización del modelo de un estanque de peces, múltiples factores que intervienen se tomaron en cuenta; factores de carácter biológico, físico, químico, ecológico, climático, económico, entre otros. Con el uso del modelo de estanque de peces para entender las relaciones presentes entre estos elementos, se estableció un escenario donde se tiene en cuenta la temperatura, el oxígeno disuelto del agua y la alimentación de un conjunto de peces. Con ello, se determina los costos asociados a una producción y así establecer valores de referencia al momento de vender. La Figura 11 ilustra las relaciones de influencia entre dichos factores.

La versión 3.0 del Ambiente, aquí presentada, implementó el modelo de crecimiento del pez promedio y el estanque que se desarrolló en un proyecto de investigación realizado en los programas de producción agroindustrial de la Universidad Industrial de Santander [4]. En la Figura 12 se presenta el diagrama flujo-nivel del primer prototipo para el desarrollo del ambiente software donde las acciones del usuario y del sistema son criterios para la simulación.



Figura 11: Mapa de sectores.

La validación de la coherencia del modelo con la información científica de este prototipo está apoyada en la participación de uno de los autores quien es experto en el área y los resultados se han confrontado con procesos reales.

En la Figura 13 se presenta el modelo para la operación del mercado. En él se describe el comportamiento de las ventas de cada jugador con su respectiva producción y la conducta de la oferta y la demanda junto a su influencia en el precio. Este modelo se basa en el modelo de oferta-demanda de presentado en Road Maps [5].

El sector demanda considera el total de inventario de las producciones activas en un determinado momento y el total de productores. Con ello, asume una demanda que restará al inventario de la oferta. Ya en la oferta ingresan las ventas realizadas por los productores y el inventario de este sector medirá una relación con un inventario deseado, este valor determinará el efecto en el precio.

Para el cálculo del precio, se tiene un precio deseado en función de la oferta y la demanda. Si este precio se encuentra dentro de un rango definido pasará a ser el precio objetivo, de lo contrario el precio será el valor extremo. Como en la situación real el precio objetivo no se refleja de inmediato, el precio real irá cambiando aproximándose de acuerdo con una demora establecida.

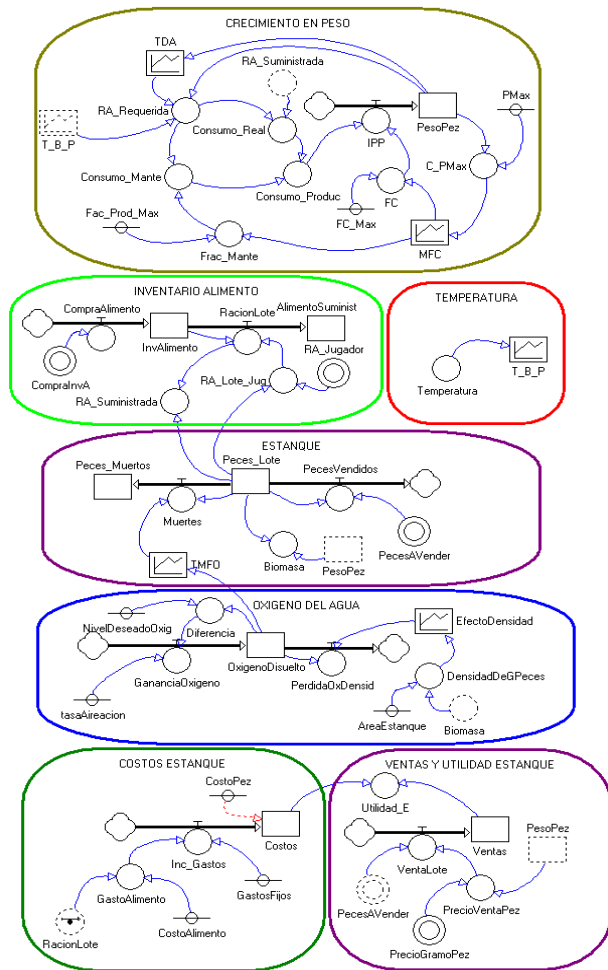


Figura 12: Modelo de producción y mercadeo piscícola.

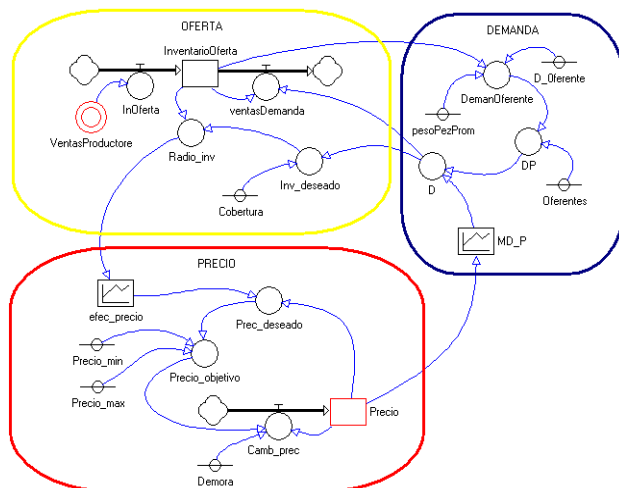


Figura 13: Modelo de oferta y demanda.

V. PRUEBAS DEL AMBIENTE

Durante el desarrollo de los productos software en su primera versión se realizaron pruebas con la participación de los estudiantes matriculados en la asignatura Modelado Estructural

de la Universidad Industrial de Santander. Se formularon casos de prueba indicando en cada uno el propósito, prerequisites, pasos y una serie de preguntas. El juego y el sitio web permitieron la realización de actividades, y a su vez pruebas del sistema, con profesores que participaban en proyectos del Grupo de Investigación relacionados con Educación.

Los productos fueron acogidos favorablemente: Pesco resultó atractivo para los jugadores y de fácil uso, MASIP propició un espacio para indagar y documentar acerca de los elementos que intervienen en una producción y el sitio web mostró el comportamiento esperado del mercado, cercano a la realidad de la oferta y demanda. Parte de las observaciones indicadas en estas pruebas sirvieron de base para los requisitos de las versiones que le siguieron a ese primer trabajo.

En la segunda versión, las pruebas se realizaron con un nuevo grupo de estudiantes de modelado estructural, con una experiencia dividida en 3 etapas: aprendizaje, mercadeo y reflexión. En la primera se hacía uso de la herramienta MASIP con el propósito de estudiar los modelos de dinámica de sistemas asociados al sistema productivo y a la comercialización de peces, en la segunda se jugaba con la aplicación del celular realizando ventas y analizando si se realizaban en el momento oportuno y en la tercera se analizaba las acciones realizadas en sus juegos y argumentaban las decisiones junto a la estrategia empleada.

Los estudiantes expresaron que este tipo de experiencia fue enriquecedora y permitió un mejor entendimiento de los modelos de DS, y la estructura por niveles representó un reto que motivó a plantear y emprender tácticas.

En el marco del proyecto de investigación y extensión *Estrategia para la integración de la Dinámica de Sistemas a los programas del área de producción agroindustrial del IPRED-UIS* con participación del Grupo SIMON de Investigación, se trabajó en los modelos y se refinaron aproximándose al comportamiento real del crecimiento en peso, particularmente el de la especie llamada mojarra roja.

Con estudiantes de los cursos³ de Cadenas productivas y de Manejo de Nutrición Animal, se efectuaron pruebas con simuladores que manejan situaciones de interacción con los modelos de forma automática y manual. Como resultado, los estudiantes reflexionaron acerca de cuáles son las implicaciones que trae consigo la toma de decisiones sobre sistemas agroindustriales a través del tiempo.

VI. CONCLUSIONES

Las experiencias recogidas reflejan que los ambientes virtuales de aprendizaje son herramientas que permiten adquirir competencias de toma de decisiones basadas en el conocimiento y que, por su cualidad de ser dinámicos e interactivos, despiertan un gran interés y así acercan al estudiante al manejo, uso y aplicación de la DS en sus actividades cotidianas.

A partir de la experimentación y los resultados obtenidos a lo largo de las investigaciones, se refleja un gran avance en el proceso de modelado y ambientes de simulación. Esto propicia la base para continuar trabajando en la realización de ambientes software que en conjunto hacen viable la estrategia de la DS como formadora en los procesos de aprendizaje.

Pesco es una propuesta informática que se dirige a la educación y se apoya en los procesos de agroindustria para acercarse. Con el lanzamiento de su nueva versión se espera que la experiencia de juego sea más completa en el sentido del acceso a una mayor cantidad de información sobre la operación y de una significativa interacción con los modelos. De esta manera, se afianza este proyecto como herramienta software para promover la apropiación de la DS.

VII. REFERENCIAS

[1] L. E. Guerra González y C. A. Ríos Porras, «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,» Bucaramanga, 2011.

[2] J. J. Castro Castro y M. R. Zambrano Urbina, «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 Versión 2.0.,» Bucaramanga, 2012.

[3] H. E. Cabra, «Piscicultura,» Bucaramanga, 2003.

[4] H. H. Andrade Sosa y C. A. Vásquez Cardozo, «Estrategia tecnológica y didáctica que facilite el uso de modelos de simulación con dinámica de sistemas en el programa agroindustrial del IPRED,» Bucaramanga, 2015.

[5] System Dynamics in Education Project (SDEP) ,MIT, Road Maps: A Guide to Learning System Dynamics, 1997.

[6] H. H. Andrade Sosa, G. P. Gongora Maestre, J. J. Castro Castro y U. M. R. Zabrano, «Aprendiendo con dinámica de sistemas y desarrollando competencias para la toma de decisiones - Una experiencia en la educación: ambiente virtual de aprendizaje pesco 2.0,» de Memorias del Décimo Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Buenos Aires, 2012.

³ Cursos del programa Agroindustrial del Instituto de proyección regional y Educación a Distancia - IPRED de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

ANEXO: ECUACIONES DEL MODELO DE PRODUCCIÓN Y MERCADEO PISCÍCOLA

NOMBRE	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN	UNIDAD	TIPO
CRECIMIENTO EN PESO					
Peso del pez	PesoPez	Peso del pez en cada instante, lo que pesa el pez en el instante t. Peso promedio de un pez en el lote.	1	Gramos	Nivel
Incremento del peso del pez	IPP	Incremento del peso del pez por día.	Consumo_Produc*FC	Gramos/Día	Flujo
Factor de conversión	FC	Indica cuánto, de cada gramo que el pez come, convierte en carne. Este factor será igual o menor a FC_Max, según el peso del pez.	FC_Max*MFC	Adimensional	Variable auxiliar
Cobertura del Peso Máximo	C_Pmax	Indica qué tanto peso tiene el pez con relación al peso máximo que puede adquirir.	PesoPez/PMax	Adimensional	Variable auxiliar
Ración alimenticia requerida	RA_Requerida	Gramos de comida que el pez necesita diariamente en función del porcentaje de biomasa para su peso en cada instante t de la simulación.	PesoPez*(TDA/100)*T_B_P	Gramos/Día	Variable auxiliar
Consumo del pez	Consumo_Real	Indica la ración real que consume el pez.	MIN(RA_requerida,RA_Suministrada)	Gramos/Día	Variable auxiliar
Consumo para el mantenimiento	Consumo_Mante	Gramos de comida que el pez utiliza de la ración alimenticia para garantizar su mantenimiento o gasto energético diario.	RA_Requerida*Frac_Mante	Gramos/Día	Variable auxiliar
Consumo para la producción	Consumo_Produc	Gramos de comida que el pez utiliza de la comida dada para su crecimiento o aumento del peso diario.	IF((Consumo_Real-Consumo_Mante)<0,(Consumo_Real-Consumo_Mante))	Gramos/Día	Variable auxiliar
Fracción Alimentaria de Mantenimiento	Frac_Mante	Indica la fracción que el pez utiliza del alimento suministrado para garantizar su mantenimiento o gasto energético diario.	1-(Frac_prod_Max*MFC)	Adimensional	Variable auxiliar
Peso máximo	PMax	Peso máximo que el pez puede llegar a tener	1200	Gramos	Parámetro
Factor Producción Máxima de Crecimiento	Fac_Prod_Max	Proporción de comida que el pez convierte en peso. Su valor máximo (0.7) sólo lo presenta el pez en la etapa inicial de su vida.	0.7	Adimensional	Parámetro
Factor de conversión Máximo	FC_Max	Factor Máximo de Conversión de comida en carne: Presente sólo en la etapa inicial de vida del pez, cuando convierte una mayor proporción de comida en peso.	0.92	Adimensional	Parámetro
Multiplicador del Factor de Conversión	MFC	Multiplicador del factor de conversión. Debido a la cobertura del peso máximo del pez.	INTLINEAL(2,0,0.1,1,1,0.9707317,0.9219512,0.7853659,0.595122,0.297561,0.1463415,0.06341463,0.02926829,0)	Adimensional	Tabla
Tasa diaria de alimentación	TDA	La relación entre el peso del pez y la cantidad de biomasa determinan la ración alimentaria que el pez consume en función del paso de los días y en consecuencia del aumento de su peso.	INTLINEAL(2,1,5,15,10,8,7.849268,7.849268,7.448293,7,7,6.713171,6.245366,5,4,9,4.507805,4,1,4,3.705854,3,6,3,4,3,3,3,2,9,2,9,2,8,2,8,2,7,2,7,2,6,2,6,2,55,2,53,2,5,2,4,2,4,2,35,2,3,2,29,2,26,2,23,2,21,2,21,2,2,2,15,2,15,2,14,2,12,2,1,2,2,1,98,1,97,1,96,1,95,1,93,1,9,1,89,1,88,1,85,1,84,1,82,1,81,1,8,1,79,1,79,1,78,1,77,1,77,1,76,1,74,1,73,1,72,1,71,1,7,1,69,1,68,1,67,1,65,1,64,1,63,1,62,1,61,1,6,1,59,1,59,1,58,1,58,1,57,1,55,1,55,1,54,1,53,1,52,1,51,1,5,1,49,1,47,1,46,1,44,1,43,1,42,1,41,1,4,1,39,1,39,1,39,1,38,1,37,1,36,1,36,1,35,1,35,1,35,1,34,1,34,1,34,1,33,1,32,1,32,1,32,1,31,1,31,1,31,1,3)	Adimensional	Tabla

TEMPERATURA					
Temperatura	Temperatura	Temperatura de cada día de producción.	INT(RANDOM(18,28))	Grados Celsius (C°)	Variable auxiliar
Influencia de la temperatura en la biomasa del pez	T_B_P	Como influye la temperatura en la alimentación del pez.	INTPASO(0,16,1,0,0.06341463,0.1804878,0.395122,0.902439,1,1,1,1,0.8878049,0.6341463,0.4,0.2146341,0.1268293,0.06829268,0.01463415,0)	Adimensional	Tabla

INVENTARIO ALIMENTO					
Inventario del alimento	InvAlimento	Inventario de alimento para peces.	2000	Gramos	Nivel
Compra de alimento	CompraAlimento	Compra de alimento que suman al inventario.	CompraInvA	Gramos/Día	Flujo
Ración del lote	RacionLote	Ración alimenticia que se suministra a los peces del estanque.	MIN(RA_Lote_Jug,InvAlimento)	Gramos/Día	Flujo
Ración del lote del jugador	RA_Lote_Jug	Ración teórica que se suministraría al lote de peces, es un valor aproximado que depende del inventario.	RA_Jugador*Peces_Lote	Gramos	Variable auxiliar
Ración suministrada	RA_Suministrada	Ración suministrada al pez de acuerdo al inventario disponible.	IF(Peces_Lote>0,RacionLote/Peces_Lote,0)	Gramos/Día	Variable auxiliar
Ración del jugador	RA_Jugador	Ración de comida que el jugador indica para suministrarle a un sólo pez.	2	Gramos	Variable exógena
Compra de inventario de alimento	CompraInvA	Compra de reservas de alimento para alimentar los peces.	0	Gramos	Variable exógena

ESTANQUE					
Peces en Lote	Peces_Lote	Peces presentes en el estanque en el instante t.	300	Peces	Nivel
Peces muertos	Peces_Muertos	Cantidad de peces muertos en el estanque.	0	Peces	Nivel
Peces vendidos	PecesVendidos	Peces que se han vendido.	PecesAVender	Peces/Día	Flujo
Muertes	Muertes	Muertes de los peces debida a la falta de oxígeno.	ROUND(Peces_Lote*TMFO)	Peces/Día	Flujo
Peso total en el estanque	PP_E	Peso total en el estanque acorde al número de peces que se tienen en él	Peces_Lote*PesoPez	Peces-gramos	Variable auxiliar
Tasa de mortalidad por falta de oxígeno	TMFO	Efecto del oxígeno sobre la mortalidad, define la tasa de mortalidad según el oxígeno disuelto en el estanque	INTLINEAL(2,0,0.5,0.2,0.15,0.03121951,0,0,0,0)	1/Día	Tabla
Peces a vender	PecesAVender	Cantidad de peces a vender.	0	Peces	Variable exógena

OXÍGENO DEL AGUA					
Oxígeno disuelto	OxigenoDisuelto	Nivel de oxígeno disuelto en el agua del estanque.	4	Partes por millón (ppm)	Nivel
Ganancia de oxígeno	GananciaOxigeno	Ganancia de nivel de oxígeno disuelto en el agua del estanque.	IF(Diferencia>0,tasaAireacion*Diferencia,0)	Partes por millón (ppm) / Día	Flujo
Pérdida de oxígeno	PerdidaOXDensidad	Pérdida de nivel de oxígeno disuelto en el agua del estanque.	OxigenoDisuelto*EfectoDensidad	Partes por millón (ppm) / Día	Flujo
Diferencia	Diferencia	Diferencia entre el nivel deseado de oxígeno y el oxígeno disuelto	NivelDeseadoOxig - OxigenoDisuelto		Variable auxiliar
Densidad de Gramos Pez	DensidadDeGramosPez	Densidad de Gramos_Pez en el estanque, tiene en cuenta el peso total de los peces y el área del estanque.	PP_E/AreaEstanque	Gramos / Metros	Variable auxiliar
Nivel deseado de Oxígeno	NivelDeseadoOxig	Nivel deseado de oxígeno disuelto en el agua del estanque.	5	Partes por millón (ppm)	Parámetro
Tasa de Aireación	tasaAireacion	La aireación produce la ganancia en el nivel de oxígeno del agua del estanque. Tipos de aireación: 1) Natural: caídas de agua, escaleras, chorros, cascadas, sistemas de abanico. 2) Mecánica: Motobombas, difusores, aireadores de paletas, aireadores inyección O2, generadores de oxígeno líquido.	0.2	Partes por millón (ppm) / Día	Parámetro
Área del Estanque	AreaEstanque	Área del estanque contenedor de peces.	50	Metros cuadrados	Parámetro
Efecto de la Densidad	EfectoDensidad	La densidad máxima posible para este caso es de: 2*680g = 1360	INTSPLINE(2,0,100,0,0.07170732,0.1127964,0.1159198,0.1315369,0.1534009,0.1596477,0.1627712,0.1468293,0.1502439,0.1604878,0.1843902,		Tabla

			0.1878049,0.1946341,0.355122,0.5,0.6,0.7)		
--	--	--	---	--	--

COSTOS ESTANQUE					
Costos	CostosTotales	Costos totales acumulados.	CostoPez	Pesos (\$)	Nivel
Incremento de costos	CostosDiatios	Total de costos que se generan a diario.	CostoAlimento+CostoFijoDiario	Pesos (\$)/Día	Flujo
Costo del alimento	CostoAlimento	Costo que se suma por alimento suministrado al lote.	RacionLote*PrecioAlimento	Pesos (\$)	Variable auxiliar
Costo de compra de peces	CostoPez	Valor inicial, producto de la compra de los alevinos.	300	Pesos (\$)	Parámetro
Gastos fijos	CostoFijoDiario	Costos fijos de mantener el estanque en funcionamiento. Está representado en factores como servicios públicos, sueldos de trabajadores, etc.	0.5	Pesos (\$)	Parámetro
Precio del alimento	PrecioAlimento	Precio al que se compró el gramo de alimento del pez.	0.1	Pesos (\$)	Parámetro

VENTAS Y UTILIDADES ESTANQUE					
Ventas	Ventas	Total acumulado de ventas del lote	0	Pesos (\$)	Nivel
Venta del lote	VentaLote	Total de dinero recibido por efecto de venta parcial o total del lote de peces.	PrecioVentaPez*PecesAVender	Pesos (\$)/Día	Flujo
Precio de venta del pez	PrecioVentaPez	Ingreso que se recibiría por la venta de un pez.	PrecioGramoPez*PesoPez	Pesos (\$)	Variable auxiliar
Utilidad del estanque	Utilidad_E	Utilidad del estanque, resultado de restar los costos a lo obtenido por ventas.	Ventas-CostosTotales	Pesos (\$)	Variable auxiliar
Precio del gramo pez	PrecioGramoPez	Precio que el mercado ofrece por gramo del pez.	10	Pesos (\$)	Variable exógena

Enfoque desde la dinámica de sistemas Para analizar la pobreza en Cartagena a causa del crecimiento urbano.

Alcalá Carlos*, Cueto Celinda*, Otero Adriana*, Rivera Silfredo, Cabarcas Amaury**
{Carlosjavieralc, celinda. cueto, Adrioterotruaquero, silfre-007}@hotmail.com, acabarcasa@unicartagena.edu.co

* Estudiantes Ingeniería de Sistemas Universidad de

RESUMEN *El crecimiento urbano desmedido de una población abarca muchas problemáticas, desde la inseguridad hasta la pobreza que es uno de las causas más notables de este proceso. En este artículo nos concentramos en la pobreza que observamos en la zona sur de Cartagena en especial en los barrios cercanos a la ciénaga de la virgen, partiendo de esto es importante cuestionarnos ¿Por qué se relaciona la pobreza con el crecimiento de la ciudad? Para hacer posible el estudio de este fenómeno.*

Teniendo como referencia la metodología sistémica que dice que el análisis de un sistema consiste en su disección, al menos conceptual, para establecer las partes que lo forman y para comprender su comportamiento necesitamos saber cómo se integran; cuáles son los mecanismos mediante los que se produce su coordinación, necesitamos saber cómo se produce la síntesis de las partes en el sistema por esto las herramientas utilizadas fueron los diagramas de influencias, los cuales son una forma efectiva de visualizar varios resultados en el proceso de clasificación de los factores que están relacionados con la pobreza por tanto estos muestran que las variables pueden estar directamente influenciadas y que están estrictamente afectados por influencias externas.

PALABRAS CLAVE: Pobreza, corrupción, necesidad, población, crecimiento Urbano.

I. INTRODUCCIÓN

Los crecientes niveles de urbanización son consecuencia del incremento natural de la población urbana y de la migración de la población rural a las ciudades. Durante los últimos cincuenta años, una gran proporción de la población rural se ha convertido en urbana, proceso de urbanización que continuará bien entrado el siglo XXI (como urbanización se entiende la concentración de las personas y actividades en áreas clasificadas como urbanas). [1]

En la actualidad los cambios más radicales se presentan en los niveles de urbanización en los países menos desarrollados, que han aumentado de cerca del 27 por ciento en 1975 al 40 por ciento en el año 2000, incremento de más de 1 200 millones de personas (United Nations Population Division 2001b). Además, todo indica que la tendencia continuará durante los siguientes 30 años, agregando 2.000 millones de personas a la población urbana de los países actualmente menos desarrollados entre esta Colombia. Con estos promedios mundiales hay complejas diferencias regionales en el crecimiento y transformación urbanos.

Nos hemos visto en la tarea de averiguar cuanto a afectado a Colombia el índice de crecimiento incontrolable de la población en el país. [2].

Este artículo se realiza con el fin de analizar y describir las diferentes variables que se encuentran directamente relacionadas con el crecimiento descontrolado de Cartagena de Indias, que ha provocado que el aumento de la pobreza en los barrios populares, pero también, se busca identificar los problemas que se pueden generar a largo plazo, si esta problemática no se soluciona en el momento adecuado llevándonos al interés de lograr establecer diferentes o posibles soluciones siendo este nuestro objetivo principal. Para esto empleamos la dinámica de sistemas para identificar los factores que afectan al sistema de estudio.

II. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

Pobreza es hambre. Pobreza es falta de albergue. Pobreza es estar enfermo y no poder ver a un doctor. Pobreza es no poder ir al colegio, no saber leer, no poder hablar apropiadamente. Pobreza es no tener un trabajo, es temer por el futuro, viviendo un día a la vez. Pobreza es perder un hijo por una enfermedad causada por la mala calidad del agua. Pobreza es impotencia, falta de representación y libertad. La Pobreza tiene muchas facetas, cambiando de un sitio a otro y a través del tiempo. [3]

El crecimiento urbano es la urbanización extendida fuera de los centros de las ciudades, por lo general, en terrenos sin urbanizar. Se caracteriza por una baja densidad de población por hectárea,

por lugares donde las casas están separadas de las zonas comerciales e industriales y por patrones de calles ramificadas. La expansión de las ciudades, se considera uno de los más grandes aspectos en la organización del territorio, ya que en las ciudades se concentra la mayoría de la población que habita en una región, departamento, o país.

El ritmo acelerado de crecimiento demográfico, se ha convertido desde hace varias décadas, en un tema de primer orden, debido a la presión excesiva de la población sobre los recursos humanos disponibles en especial sobre los recursos alimentarios. La urbanización de una ciudad ayuda a que sea más reconocida, y adquiera mucho más manejo económico y pueda ser más desarrollada. Sin embargo el crecimiento de esta constituye un problema socioeconómico. El desempleo es causado por la falta de oportunidades y esto es debido a que a medida que la ciudad crece aumenta también el número de habitantes y las empresas no logran brindar la cantidad empleo para cada persona que lo necesita y es cuando aparece la pobreza, cuando no se tiene trabajo crecen las necesidades económicas, lo que conlleva a la desesperación por suplirlas. La violencia y la inseguridad son dos aspectos que van directamente relacionados con la pobreza porque algunas personas optan por el hurto para conseguir lo necesario para sobrevivir.

Un crecimiento urbano “sin límites” y desordenado en los próximos años conducirá a la creación de barrios pobres y marginales, así como a mayor contaminación y criminalidad, según alertó hoy el Banco Mundial (BM) en su informe semestral sobre los avances hacia los Objetivos del Milenio. [4]

Para el caso particular de Cartagena, el proyecto Cartagena Cómo Vamos estima y calcula los indicadores de pobreza y desigualdad para el distrito y a nivel de localidades y comunas, siendo un buen acercamiento a la descripción detallada de la situación. El tema ha sido tratado adicionalmente en los Cuadernos de Coyuntura Social de Cartagena de Indias, en los cuales se examina la situación económica y social de la ciudad y la región Caribe mediante el análisis de los indicadores sociales más utilizados.

Cartagena pasa a ser la segunda ciudad más pobre del país, después de Barranquilla, reflejando un alto costo de vida que afecta a las personas de escasos recursos, al aumentar la proporción de trabajadores de ingresos más bajos a un 33.78%, mientras que la media para las principales ciudades es de 24.07%, y para Pereira es sólo de 16.3%.

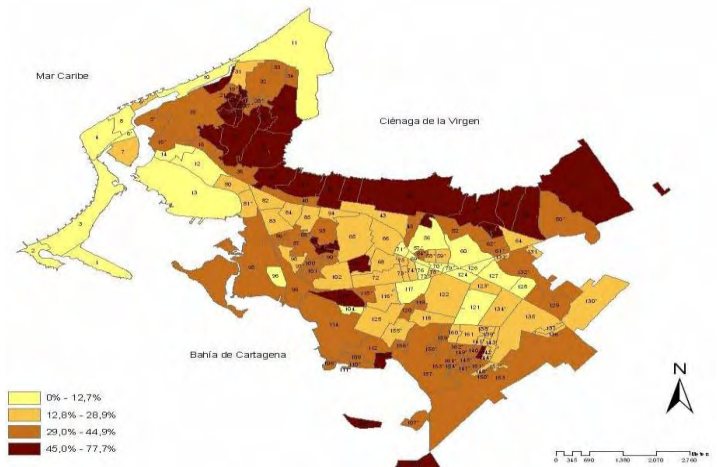


Figura 1. Mapa de Cartagena- Porcentaje de personas de bajos ingresos. [5]

Elementos del sistema de estudio

- Población
- Oportunidades de trabajo
- Nacimientos
- Muertes violentas
- Viviendas
- Necesidad económica
- Crecimiento industrial
- Atracos
- Nivel de estrés.

III. METODOLOGIA

La dinámica de Sistemas es una metodología cuantitativa que se basa en la teoría de control de retroalimentación y toma la simulación por computador para estudiar los sistemas complejos.

La característica única de esta metodología es que ayuda a comprender los sistemas complejos desarrollando diagramas de bucle causal, valores y diagramas de flujo, estos elementos ayudan a estudiar el comportamiento del sistema. [6]

La identificación del problema, descripción, análisis del problema, desarrollo del sistema, flujos y diagramas causales son parte del enfoque sistémico por tanto esta metodología permite el estudio adecuado de la problemática.

Solución de interrogantes planteados en el artículo mediante la aplicación de la teoría general de sistemas.

IV. RESULTADOS

En esta sección se muestra un caso de estudio sobre el crecimiento urbano debido a la pobreza, plasmado en el siguiente diagrama causal donde se puede apreciar varias consecuencias, causas y a su vez alternativas de mejora.

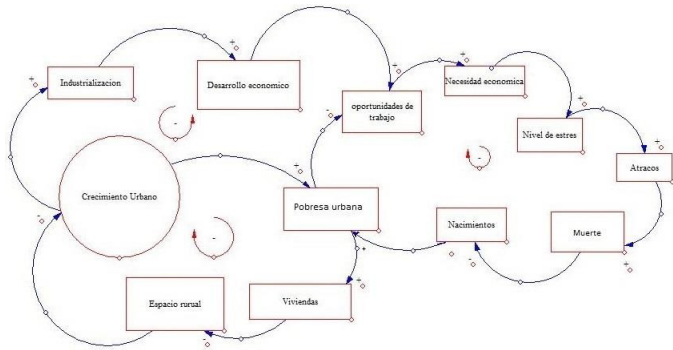


Figura 2. Diagrama causal

CICLOS DE RETROALIMENTACION

Retroalimentación Negativa es un tipo de retroalimentación en el cual el sistema responde en una dirección opuesta a la perturbación. El proceso consiste en retractar sobre alguna entrada del sistema una acción (fuerza, voltaje, etc.) proporcional a la salida o resultado del sistema, de forma que se invierte la dirección del cambio de la salida. Esto tiende a estabilizar la salida, procurando que se mantenga en condiciones constantes [7]. Por ende se identificaron tres ciclos de retroalimentación negativa que se explican a continuación relacionando cada uno de los que generan la pobreza en Cartagena.

la pobreza es la principal causa del crecimiento urbano, si hay más población menores serán las oportunidades de trabajo en el país anteriormente se vio evidenciado que la población rural se desplaza hacia la zona urbana en busca de empleo y oportunidades aumentando la población y disminuyendo las oportunidades, esto lleva como consecuencia una necesidad económica mayor y un espacio urbano reducido, Colombia es uno de los países subdesarrollados manteniendo así una baja industria y poco desarrollo económico.

Con la intensidad poblacional vienen las necesidades socioeconómicas que obligan al gobierno a realizar plan de desarrollo que en muchos casos no cumplen su objetivo y provocan el crecimiento desacelerado de la ciudad provocando las diferentes consecuencias.

La situación de Cartagena frente a las ciudades principales de Colombia no es alentadora respecto al tema de la pobreza y las vari-

ables relacionadas con el desarrollo urbano. Al interior de la ciudad, a través de sus barrios, es posible encontrar concentraciones específicas de estos fenómenos que manifiestan la gravedad de las condiciones de algunos barrios frente a la situación favorable de unos pocos.

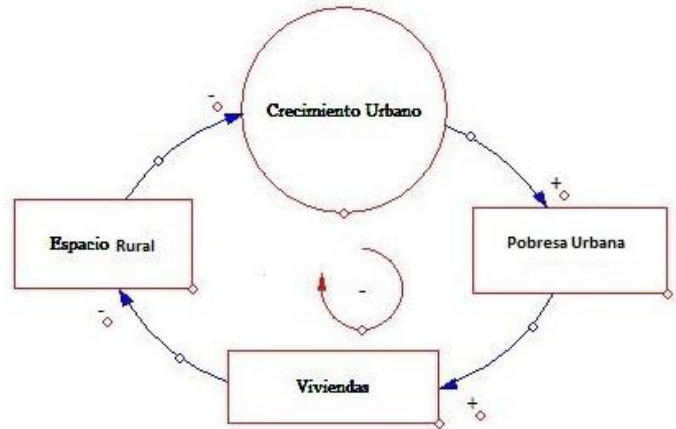


Figura 3. Ciclo de retroalimentación 1.

En este ciclo se observa un incremento de la población si se aumenta el crecimiento urbano aumenta la pobreza urbana, a mayor pobreza urbana se necesitan más viviendas para las personas, a más viviendas se disminuye el espacio rural y mayor espacio rural nos indica menos crecimiento urbano.



Figura 4. Ciclo de retroalimentación 2.

A mayor crecimiento urbano aparecen más industrias, a más industrialización es mayor el desarrollo económico, a mayor desarrollo económico más oportunidades de trabajo y a mayor crecimiento urbano crece la pobreza urbana, a más pobreza menos oportunidades de trabajo.



Figura 5. Ciclo de retroalimentación 3.

A mayor pobreza urbana las oportunidades de trabajo son escasas, a más oportunidades de trabajo menos necesidad económica, a mayor necesidad económica el nivel de estrés por parte de las personas aumenta, a mayor nivel de estrés más atracos, a mayor delincuencia mayor muertes, a más muertes menor será los nacimientos y a mayor nacimientos mayor será la pobreza urbana.

V. CONCLUSION

Al analizar la situación de Cartagena de indias en cuanto la pobreza tomando como base la Dinámica de sistemas, se logró determinar las diferentes consecuencias que puede ocasionar la pobreza a largo plazo en la ciudad y que además el crecimiento urbano desacelerado de Cartagena origina distintos elementos que hacen posible que esta problemática se agrave considerablemente. Por eso podemos decir que la Teoría general de sistemas nos brinda un aporte para el análisis y estudios de situaciones o fenómenos para que se puedan resolver los interrogantes con respecto al sistema de estudio, permitiendo la realización de diagramas de flujo para obtener una descripción detallada y así lograr posibles soluciones a dicha problemática tal y como se evidenció en el presente artículo ya que gracias al diagrama de flujo realizado se nos facilitó el estudio de los distintos elementos que van relacionados con la Pobreza en Cartagena y también determino que cada uno de estos se encuentran relacionados, de forma que, se llega a la conclusión que, al aplicar la dinámica de sistemas para nuestro análisis se comprendió la verdadera situación que esta manejando la ciudad de Cartagena de indias desde diferentes aspectos en cuanto a la pobreza que especialmente abunda en los barrios cercanos a la ciénaga de la virgen.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] www.toxtown.nlm.nih.gov
- [2] www.moreliademografia.blogspot.com.co.
- [3]. www.banrep.gov.co.
- [4] Jeffrey R. Taylor y Karen A. Hardee, Consumer Demand in China: A Statistical Factbook (Boulder, CO: Westview Press, 1986): 112
- [5] www.cedetrabajo.org
- [6] M. Su, The Principle and Application of System Dynamics, Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 1988.
- [7] www.dinamicadesistemasudo.blogspot.com.co

Índice

A

agriculture 80
Alcohol consumption 152
alcoholism 152
alcoholismo 152
Ambiente educativo 231
Análisis de Riesgos 45
Arquetipos 45
Asociatividad 116
Autoevaluación 18
avicultural industry 225

B

Bahía de Cartagena 192
basuras 192
Biocombustibles 74
Biomass Coal Gasification 144

C

Cadena de suministros 136
Calidad Ambiental Urbana 99
Capital market 89
chemical reactions 144
ciclo de vida de las aves 225
Ciclos Causales 33
ciénagas 192
Ciudad Inteligente 174
Clúster, Factores de Competitividad 160
Colombia 186
commercial buildings 65
Competitividad 160
Comportamiento 18
Conflictos armados 109
Congestión 217
Consumo de bebidas alcohólicas 152
Consumo energético 206
contaminación 192
corrupción 241
crecimiento Urbano 241

D

delito 45
Deserción Universitaria 33
diagrama causal 192

dinámica de sistemas 74, 109, 122, 136, 166, 192, 225
Dinámica de sistemas 152
Dinámica de Sistemas 18, 33, 99, 116, 160, 174, 217, 231
Doble propósito 116

E

economic system 80
educación, pobreza 181
Educación Superior 18, 33
education 181
egg production 225
Elección de Ruta 217
electricity market 65
Emisiones GEI 206
employment 93
energía eólica 211
energy balance 144
energy efficiency 65
estudiante universitario 152
Evaluation Criteria 201
Ex-dividend 89
external demand 93

F

fauna 192
fixed bed gasifier 144
flora 192

G

Gangs 181
Gestión Pública 174
greenhouse gases, 65
Gross domestic product 93

H

Hipótesis Dinámica 160

I

Impact of taxes on capital markets 89
industria avícola 225
inequality 102
inflation, deflation 93
Información al Usuario 217
Inseguridad 45

interconexión 211
internal demand 93
inventory replacement 225

J

jóvenes 181

K

kinetic modeling 144

L

life cycle of birds 225

M

macroeconomic relations 93
manglares 192
Mechanism 197
medio ambiente 74
mercurio 192
metales pasados 192
modelado dinámico 166
modelamiento 74
modelo de planeación 122
Motivation 197
Movilidad urbana 166

N

necesidad 241
Niveles y Flujos 33

O

Oil & Gas 122
Oil&Gas 122
opportunities 102

P

Pandillas 181
Peace 186
peace agreement 80
pensamiento sistémico 192
Pensamiento sistémico 136
photovoltaic solar energy 65
Piscicultura 231
planning modeling 122
población 241
Pobreza 241
política pública 166
políticas para la paz 109
post-conflict 80
Post- Conflict 186
poverty 181

private 102
producción de huevos 225
public 102
Public Order 186
PYMES 12

R

reposición de inventarios 225
Residuos Sólidos 99

S

sedimentación 192
self-generation 65
Ser Pilo Paga 102
simulación 211
simulation 80
Simulation Learning 201
sistemas de innovación agrícola 136
Sistemas ganaderos 116
Smart University 136
sociedad artificial 109
students 102
supply chain management 136
system dynamics 122, 225
System dynamics 65, 80, 152
System Dynamics 89, 102
System Dynamics Learning 201
systems dynamics 12, 136
Systems thinking 136
System Thinking Learning 201

T

Teacher Immediacy 197
Tecnología de Información 174
toma de decisiones 231
transmisión 211
Transporte 206
tuition 102

U

unconventional sources of energy 65
universities 102
university student 152

V

variables 12, 93
violence 181
violencia 181

Y

young boys 181