

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



MANUEL EDUARDO GONZÁLEZ CHACÓN

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE INTERVENCIONES EN ORGANIZACIONES
EMPRESARIALES DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS – REVISION TEORICA.**

TRABAJO DE GRADO

FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN

PROGRAMA DE NEGOCIOS INTERNACIONALES

BOGOTÁ D.C. 2014

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



MANUEL EDUARDO GONZÁLEZ CHACÓN

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE INTERVENCIONES EN ORGANIZACIONES
EMPRESARIALES DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS – REVISION TEORICA.**

TRABAJO DE GRADO

TUTOR:

MILLER RIVERA LOZANO

FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN

PROGRAMA DE NEGOCIOS INTERNACIONALES

BOGOTÁ D.C. 2014

Tabla de Contenido

Introducción	7
Abstract	8
Capítulo I. La Teoría General de Sistemas	9
1. Aspectos Generales de la T.G.S.....	9
1.1 Metas de la T.G.S.	13
1.2 Definición De Un Sistema.....	16
1.3 Progresos En La TGS.....	17
1.4 Teorías o enfoques dentro de la Teoría General de Sistemas	18
1.4.1 La Cibernética.....	19
1.4.2 La Teoría De Juegos	20
1.4.3 La Teoría De La Información.....	22
1.5 Concepto De Organización	24
Capítulo II. La Dinámica de Sistemas	25
2. La Dinámica De Sistemas y El Trabajo De Jay W. Forrester.....	26
2.1 Dinámica en las Organizaciones	32
2.2 Conceptos básicos de la Dinámica de Sistemas	33
2.3 Sistemas Complejos	40
2.4 Todos Usamos Modelos	41
2.5 Modelos Computacionales	42
2.6 Fuentes De Información	43

2.7 Estructuras Genéricas O Transferibles	44
2.8 Fases Para La Modelación De Un Problema Desde La Dinámica De Sistemas	44
2.8.1 Fase 1. Identificar el Problema.	45
2.8.2 Fase 2. Desarrollar una hipótesis Dinámica que explique la causa del problema.	45
2.8.3 Fase 3. Construir un modelo de simulación del sistema.....	46
2.8.4 Fase 4. Evaluación y análisis del modelo.	47
Capítulo III. Aplicaciones de la Dinámica de Sistemas.....	49
3. Principales Aplicaciones de Software para la Dinámica De Sistemas	49
3.1 Ejemplos de Aplicación de la Dinámica de Sistemas en las Organizaciones Empresariales.	52
3.1.1 Análisis de una empresa del sector maderero desde la dinámica de sistemas	52
3.1.2 Aspectos Determinantes De La Seguridad Alimentaria Para Fincas Tipo en El Municipio De Alcalá. Un Análisis Desde La Dinámica De Sistemas	64
3.1.3 Dinámica de sistemas aplicado en el análisis de cadenas productivas agroindustriales en el departamento de Bolívar.....	74
4. Referencias.....	83
5. Bibliografía	86

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1: Esquema sencillo de retroalimentación. (Bertalanffy, 1976, p.43)	15
Ilustración 2: Esquema sencillo de retroalimentación. (Bertalanffy, 1976, p.56)	17
Ilustración 3: El modelo de Shannon y Weaver. (López, Parada & Simonetti, 1995)	23
Ilustración 4: Dinámica de Sistemas. (Chávez R., S.F. p.32)	30
Ilustración 5: Impresión del mundo en un circuito abierto. (Forrester, 2009)	36
Ilustración 6: Estructura mundial como un circuito cerrado. (Forrester, 2009)	37
Ilustración 7: Fuente: Esquema vaso de agua. (Forrester, 2009)	38
Ilustración 8: sistema de retroalimentación (Forrester, 2009).	39
Ilustración 9: World2. (Forrester, 2009).	41
Ilustración 10: Fuentes de información. (Forrester, 2009).	43
Ilustración 11: <i>Presentación Software Vensim®</i> . (Bonilla M., Cortes M. & Madrigal K., 2010)	50
Ilustración 12: <i>Presentación Software Vensim®</i> . (Bonilla M., Cortes M. & Madrigal K., 2010)	51
Ilustración 13: <i>Presentación Software Vensim®</i> . (Bonilla M., Cortes M. & Madrigal K., 2010)	52
Ilustración 14: Diagrama. (Gulino E., et al., 2006, p.64)	56
Ilustración 15: Diagrama etapas Diagrama. (Gulino E., et al., 2006, p.67)	58
Ilustración 16: Descripción producto Critico. (Gulino E., et al., 2006, p.69)	60
Ilustración 17. Diagrama de Forrester para el Componente Indicadores de Seguridad Alimentaria. (Céspedes J. D., Arboleda C. & Morales T., 2010)	67
Ilustración 18: Productos y áreas destinadas a un huerto. (Céspedes J. D., Arboleda C. & Morales T., 2010)	71
Ilustración 19 Distribución Has por cultivos. (Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013)	78
Ilustración 20 Variación de las hectáreas cosechadas yuca y ñame. (Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013)	79
Ilustración 21 Capacidad y rendimientos por cultivos. (Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013) ...	80

Ilustración 22 Variaciones de las utilidades (\$ en millones). (Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013)	81
--	----

Introducción

Este trabajo tiene como objetivo hacer una revisión teórica desde los inicios de la Teoría General de Sistemas, hasta el desarrollo de la dinámica de sistemas, todo lo que estas dos teorías plantean, además de muchas otras teorías de las cuales estas se encuentran rodeadas y conectadas muy cercanamente, ya que partiendo del planteamiento que hizo el biólogo Ludwig Von Bertalanffy se derivaron diversas corrientes de pensamiento, todas alrededor del enfoque y pensamiento de sistemas, y de la cual se deriva la más importante para nosotros en este trabajo de la cual es padre el Ingeniero Jay Wright Forrester, la Dinámica de Sistemas. Muchas de estas otras teorías tienen como objetivo generar estrategias de cambio en las organizaciones mediante diferentes metodologías, pero todas con el fin de alcanzar un desempeño óptimo en los procesos que son realizados en las organizaciones. Este proyecto es planteado ante la necesidad de tener un amplio conocimiento teórico de todo lo que conllevan los planteamientos de la Dinámica de Sistemas los cuales van de la mano junto con el pensamiento sistémico y el modelamiento organizacional, el cual veremos cómo es desarrollado desde el enfoque de la Dinámica de Sistemas a través de distintos modelos y en la actualidad herramientas informáticas tales como software diseñados exclusivamente para el modelamiento desde la Dinámica de Sistemas.

Palabras Clave: Teoría General de Sistemas, Dinámica de Sistemas, Cibernética, Teoría de la Información, Pensamiento Sistémico, Modelación, Organizaciones.

Abstract

This work aims to make a theoretical review since the beginning of the General Systems Theory, to the development of dynamic systems, all of these theories suggest that, in addition to many other theories which these are surrounded of and connected closely as they're starting from the same approach that made the biologist Ludwig von Bertalanffy in which various schools of thought were derived, all around the approach of systems thinking, and which derives the most important to us in this work, which is father Jay Wright Forrester Engineer, System Dynamics. Many of these other theories are intended to create strategies for change in organizations using different methodologies, but all in order to achieve optimal performance in the processes that are performed in organizations. This project is brought before the need for a broad theoretical knowledge of everything involving the ideas of system dynamics which go hand to hand with systems thinking and organizational modeling, which we will see how it is developed from the focus Dynamics Systems using different models and today's software tools designed exclusively for modeling from system dynamics.

Key Words: General Systems Theory, System dynamics, Cybernetics, Information Theory, Systems Thinking, Modelling, Organizations.

Capítulo I. La Teoría General de Sistemas

En este capítulo haremos una revisión de los principales planteamientos teóricos, metas y progreso de la Teoría General de Sistemas, los cuales dieron inicio a un posterior desarrollo de varias teorías o enfoques, uno de los cuales es la Dinámica de Sistemas la cual es la teoría central en este trabajo de tesis y sobre la cual se hará una revisión más profunda en los capítulos que siguen a este. De igual forma haremos una breve revisión de las principales teorías planteadas a raíz de la Teoría General de Sistemas y su respectiva descripción, así mismo revisaremos el concepto de sistema y organización desde la T.G.S.

1. Aspectos Generales de la T.G.S.

La teoría general de los sistemas (T.G.S.) surgió con los trabajos del biólogo alemán Ludwig Von Bertalanffy, publicados entre 1950 y 1968. Bertalanffy plantea el tema de la Teoría General de los Sistemas (TGS) como la formulación y derivación de aquellos principios que son válidos para los sistemas en general, es decir que la teoría general de sistemas es una disciplina que desarrolla, prueba y demuestra las leyes que pueden ser aplicables en una variedad de campos. Esta disciplina puede extenderse por diversos tipos de sistemas bastante especiales “como los que aplica el ingeniero a la construcción de un puente o una máquina, hasta leyes especiales de disciplinas físicas como la mecánica o la óptica, y hasta leyes de gran generalidad, como los principios de la termodinámica, aplicables a sistemas de naturaleza intrínsecamente diferente mecánicos, calóricos, químicos o lo que sean” (Bertalanffy, 1976, p.33). Por otra parte la teoría general de sistemas en cuanto al análisis de la sociedad nos plantea que esta podría ser considerada como un organismo en sí, y por lo tanto estaría sujeta a tener un nacimiento, un crecimiento y desarrollo, y eventualmente una decadencia. Bertoglio O. J. (2004) nos plantea que:

La importancia de las relaciones mutuas no solo radica en el hecho de que los procesos en un campo condicionan o están condicionados por los avances conseguidos en otros, sino que también se debe a que varios descubrimientos realizados independientemente a menudo permiten encontrar soluciones imprevistas a ciertos problemas o constituyen un

todo unitario de mayor envergadura que la simple suma de sus partes, o conducen a innovaciones de cierto tipo con las que no se contaba. (p.48)

La teoría general de sistemas observa al mundo como un conjunto de fenómenos individuales interrelacionados en lugar de aislarlos, en donde la complejidad adquiere interés.

Ha demostrado que algunos conceptos, principios y métodos no dependen de la naturaleza específica de los fenómenos implicados. Ayuda a abrir a través de investigaciones (en general) nuevas posibilidades a distintas disciplinas, es decir principios, paradigmas y métodos.

Si buscamos principios que se apliquen a sistemas en general, sin importar a que rama de las ciencias del saber pertenezcan podremos hallar que existen modelos que al plantear y definir bien el sistema sin importar su género en particular, elementos y fuerzas influyentes podremos ver que existen principios y leyes que se aplican a muchos sistemas en general. (Bertalanffy, 1976)

Conceptos, modelos y leyes parecidos surgen una y otra vez en campos muy diversos, independientemente y fundándose en hechos del todo distintos. En muchas ocasiones fueron descubiertos principios idénticos, porque quienes trabajan en un territorio no se percataban de que la estructura teórica requerida estaba ya muy adelantada en algún otro campo. La teoría general de los sistemas contará mucho en el afán de evitar esa inútil repetición de esfuerzos. (Bertalanffy, 1976, p.33)

En la teoría general de los sistemas, debemos tener muy en cuenta el enfoque sistemático, el cual es el proceso lógico que es aplicado para la resolución de problemas mediante la identificación del problema, la determinación de las alternativas de solución, seleccionar una de estas, ponerla en práctica, determinar su eficiencia mediante la retroalimentación, y hacer un proceso de retroalimentación o revisión de cualquiera de las etapas en el momento que sea necesario. La era de la información y la tecnología ha traído consigo muchos cambios y de este modo la teoría general de sistemas ha posibilitado la explicación de muchos supuestos a muchos niveles como sucede a nivel empresarial, político, tecnológico, científico etc. (Martínez & Sánchez, 2012)

Martínez y Sánchez (2012) nos plantean que en la teoría general de sistemas, los sistemas están compuestos por varios elementos los cuales son: Entradas, la cual es la información que necesita el sistema para poder comenzar el proceso que sea. El proceso, el cual está conformado por las

diferentes partes del sistema y conlleva el desarrollo que se va dando y encamina a cada tarea y función dentro del sistema a conseguir el objetivo que se desea lograr. El ambiente, lo cual es todo lo externo al sistema que de una manera u otra lo está afectando y no se puede modificar. Las salidas, que son los objetivos conseguidos del sistema al final de todo el proceso. Y la retroalimentación o feedback lo cual es la información que se tiene del desempeño del sistema en general, nos brinda los problemas que se produjeron, los posibles ajustes que se podrían realizar para obtener un mejor desempeño y demás modificaciones que puedan llevar a un optimo comportamiento del sistema.

Existen dos tipos de sistemas, los sistemas cerrados y los sistemas abiertos. Los sistemas cerrados, los cuales según la teoría existentes son muy pocos, hay teorías que estudian como sistemas cerrados, algunos sistemas que pueden acercarse un poco a lo que un sistema cerrado como tal podría ser, ya que un sistema cerrado en teoría no recibe ninguna influencia ni intercambio de energía externa y solo funciona con elementos compuestos dentro de él, lo cual en la teoría nos dicen que como sistema cerrado en si solo podría ser considerado el universo en considerado como un todo, sin embargo encontraremos algunos ejemplos de sistemas cerrados sobre sistemas que se pueden asimilar un poco a lo que un sistema cerrado en si debe ser, los cuales podrían ser algunas de las maquinas existentes, ya que muchas no necesitan casi de la influencia o estimulo externo para funcionar, es decir que operan con un muy pequeño intercambio de energía y materia con el ambiente. Y si hablamos en términos de termodinámica puede variar un poco la definición, ya que nos plantea que un sistema cerrado aunque no puede intercambiar materia con el exterior, si puede intercambiar energía con este. (Martínez & Sánchez, 2012)

Los sistemas abiertos por su parte se pueden ver de una forma muy amplia, estos presentan intercambio con el medio ambiente y pueden ser vistos a nivel del individuo, grupo, organización o sociedad. Se pueden considerar como sistemas abiertos todas las estructuras en las que interviene el ser humano o las sociedades, en las cuales existe una influencia por parte del medio ambiente, la cual es reciproca, ya que así como el medio ambiente afecta e incide en el sistema, este también genera un impacto en el ambiente sin importar de que carácter sea dicho impacto o influencia en el ambiente. También podemos decir que todo sistemas es a su vez un subsistema, ya que siempre abra un sistema mayor que lo abarque del cual formen parte, tomando así en

cuenta que todos los sistemas influyen y determinan otros sistemas y estos a su vez son influenciados por el sistema superior en el cual se encuentran englobados. (Martínez & Sánchez, 2012)

Para Martínez y Sánchez (2012) es muy importante resaltar que en la teoría general de sistemas el feedback o retroalimentación es uno de los conceptos principales, y que este puede ser interpretado de muchas formas en cada una de las diferentes estructuras, a veces puede ser planteada como la información de retorno, o si hablamos en términos de aprendizaje podría ser visto como evaluación continua y esto es lo que nos permite ir optimizando las estructuras o sistemas analizados.

La teoría general de sistemas es un instrumento útil al dar modelos utilizables y transferibles entre diferentes campos y evitar por otra parte analogías vagas que a menudo ha perjudicado el progreso en distintos campos. (Bertalanffy, 1976)

Todos los sistemas deben tener la capacidad de poder desenvolverse efectivamente en un medio, y de este modo lograr sobrevivir con los recursos con los que cuenta e interactuar con distintos componentes, es decir subsistemas que están presentes y así bajo una dirección unificada poder obtener los resultados deseados.

Lo transaccional e incierto en la teoría de sistemas exige que en el modelo planteado se le preste atención a: (a) el flujo total de información y sus varias utilidades, procesos de filtración, codificaciones, procesos, correspondencias de las entradas y las salidas; (b) la manera en que cada fase o punto de ligadura en la red produce feedbacks o feedforwards que afectan las fases posteriores o anteriores de forma importante; (c) la manera en que cada estadio de una transformación o proceso introduce información, estructuración o ruido ambiental; (d) la medida en que a través de las distintas transformaciones, codificaciones o correspondencias se mantiene una cierta invarianza de la configuración inicial. Se cree que este modelo es aplicable a las ciencias formales y por lo tanto se ofrece como una ayuda potencial en el estudio de la conducta humana y en la refundición de la filosofía de la ciencia. Donde se introduce el concepto de rasgos fundamentales variables en el tiempo como parte básica para todos los sistemas. (Arango, 1997, p.31)

El análisis dinámico de un sistema funcional hace posible que este sobreviva y permite que se desarrolle, generándole un ciclo de actividad con más posibilidades, que lo aventaja como organización y de esta forma le permite aprovisionarse de nuevos recursos. (Arango, 1997)

Se puede decir que la teoría general de los sistemas ha sido innovadora, ya que ésta observa al mundo como un “conjunto de fenómenos individuales interrelacionados” en lugar de aislar los diferentes elementos, en donde la complejidad adquiere un gran interés. También ha demostrado que la naturaleza específica de los fenómenos implicados no tiene que ser dependiente de muchos conceptos, principios y/o métodos. Y se ha abierto de una forma innovadora a nuevas posibilidades en las distintas disciplinas existentes a través de investigaciones y análisis de nuevos paradigmas. (Bertalanffy, 1976)

1.1 Metas de la T.G.S.

La teoría general de los sistemas es una ciencia general que trata de lograr en sí misma la definición de la totalidad, ya que todo está compuesto por sistemas según esta nos plantea. Además el estudio de sistemas es una respuesta a la necesidad de sintetizar y analizar la complejidad. (Bertalanffy, 1976)

Bertalanffy (1976) nos plantea las metas principales de la teoría general de los sistemas:

- (1) Hay una tendencia general hacia la integración en las varias ciencias, naturales y sociales.
- (2) Tal integración parece girar en torno a una teoría general de los sistemas.
- (3) Tal teoría pudiera ser un recurso importante para buscar una teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia.
- (4) Al elaborar principios unificadores que corren «Verticalmente» por el universo de las ciencias, esta teoría. Nos acerca a la meta de la unidad de la ciencia.

(5) Esto puede conducir a una integración, que hace mucha falta en la instrucción científica. (p.38)

La teoría general de sistemas a ayudado a aclarar muchos fenómenos que se dan en distintas ciencias, así mismo como ha ayudado a sacar algunas conclusiones generales, tales como el principio de equifinalidad, fundado en la interacción dinámica en un sistema abierto que alcanza un estado uniforme, el cual nos indica que en los sistemas abiertos partiendo de distintas situaciones iniciales se puede llegar a un mismo final, según Bertalanffy (1976) “En ellos puede alcanzarse el mismo estado final partiendo de diferentes condiciones iniciales y por diferentes caminos” (p.46) a diferencia de cualquier sistema cerrado en los cuales el desenlace o estado final está dado por sus acciones o condiciones iniciales ya que si alguna de estas cambia todo el estado final también cambiara.

Cuando hablamos de conclusiones generales, también tenemos que hablar de la retroalimentación, lo cual se convierte en algo fundamental cuando empezamos a mirar la teoría de la comunicación y el control para lo cual podemos analizar una grafica que nos plantea Bertalanffy (Ilustra. 1) como un esquema sencillo de retroalimentación que nos muestra un receptor, el cual es el que recibe el estímulo inicial, este receptor transmite el mensaje hacia un aparato de control lo cual en los humanos lo podríamos ver como el cerebro y el sistema nervioso central el cual luego de recibir la información envía un nuevo mensaje al “efector” que en este ejemplo sería la respuesta física que realice el cuerpo luego de un estímulo y después de asimilar el mismo tal como asustarse por alguna situación o brincar por un quemón y al final de esto viene la retroalimentación de la situación, Bertalanffy (1976) nos plantea ejemplos con respecto a aparatos tales como un termómetro, radar, entre otros dispositivos tecnológicos, y aunque no plantea este preciso ejemplo que acabamos de ver, nos dice que un gran número de fenómenos biológicos corresponden al modelo de retroalimentación.

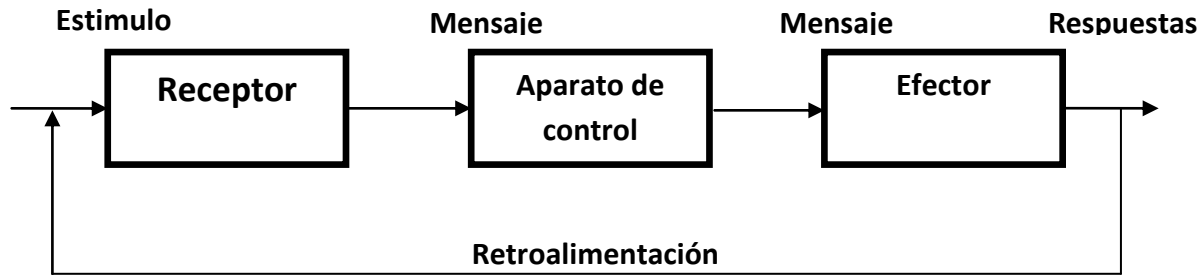


Ilustración 1: Esquema sencillo de retroalimentación. (Bertalanffy, 1976, p.43)

Claro que Bertalanffy (1976) en palabras más técnicas, nos plantea la retroalimentación como “El mantenimiento homeostático de un estado característico o la búsqueda de una meta, basada en cadenas causales circulares y en mecanismos que devuelven información acerca de desviaciones con respecto al estado por mantener o la meta por alcanzar.” (p.46)

Debemos tener en cuenta que los sistemas en general poseen una infinidad de características y componentes, pero algunos de estos son claves como por ejemplo la equifinalidad de la cual ya hablamos y la retroalimentación de la cual ya hablamos también, pero existen otras que no podemos pasar por alto ya que también pertenecen a este grupo de características y componentes muy importantes de los sistemas. La teleología es una de estas características, que como tal es el estudio o la ciencia de las causas finales y se refiere a que no es posible que exista un sistema sin que tenga una finalidad o unas metas finales y que cualquier proceso debe tener una finalidad u objetivo, teniendo en cuenta esto podemos ver como Norbert Wiener plantea en su libro “*Cibernética: o el control y la comunicación en los animales y las maquinas*” como los sistemas cibernéticos también podrían tener una definición como sistemas teleológicos ya que el control siempre estará orientado a un fin (Wiener, 1948).

La información es una característica muy importante y en algunos casos podría ser definida como el alma del sistema, ya que un sistema no puede funcionar sin recibir información exterior y a su vez sin que haya un traspaso de información al interior del sistema entre sus componentes, se dice que los sistemas abiertos tienen la capacidad de aprender e innovar, es decir tiene la capacidad de la adaptabilidad dada la diferente información que recibe a través de las entradas del mismo. Input y Output, el input es lo que posibilita la importación de los recursos externos,

ya que todo sistema abierto requiere recursos de su ambiente y el output se define como la o las corrientes de salida que posee el sistema (Wiener, 1948).

La entropía podría ser entendida en una forma sencilla, como la desorganización del sistema, ya que se dice que los sistemas van a tender a su progresiva desorganización, lo cual llevaría a la desintegración del sistema, esto puede ocurrir cuando se están importando más recursos o información de los necesarios ya que no se tienen muy bien definidos los objetivos lo cual es completamente reversible con la información adecuada. La homeostasis se refiere en si misma a la adaptabilidad o autorregulación que posee un sistema ante las diferentes condiciones del ambiente que al cambiar logra compensar dichos cambios para poder conservar invariante la estructura del sistema. (Bertalanffy, 1976)

1.2 Definición De Un Sistema

Las propiedades de un sistema pueden describirse en un conjunto de formulas matemáticas, un sistema puede definirse matemáticamente mediante un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas, de tal forma que un cambio de valor dentro del sistema este en función de los demás valores y a la inversa, un cambio del valor origina cambios en todos los valores restantes y en la totalidad del sistema. (Bertalanffy, 1976)

Para definir un sistema existen matemáticamente muchas opciones, como por ejemplo un conjunto de formulas matemáticas que constituyen un conjunto de isomorfismos, tomemos como ilustración un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas. Denotando por Q_1 alguna magnitud de elementos $p_{1_}$ ($i = 1, 2, \dots, 11$), para un número finito_ de elementos y en el caso más sencillo, las ecuaciones tendrán la forma: (Bertalanffy, 1976, p.56)

$$\frac{dQ_1}{dt} = f_1 (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

$$\frac{dQ_2}{dt} = f_2 (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

.....

$$\frac{dQ_n}{dt} = f_n (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

Ilustración 2: Esquema sencillo de retroalimentación. (Bertalanffy, 1976, p.56)

De esta manera, el cambio que se dé en cualquier magnitud Q_1 es función de todas las Q , de Q_1 a Q_n . Y a la inversa, el cambio de cualquier Q_1 conlleva al cambio en todas las demás magnitudes y en el sistema en general. Este tipo de ecuaciones representan uno de los principios generales en la cinética. De esta manera, al tomar en cuenta la variedad de aplicación de estos conceptos teóricos a distintos campos, la teoría general de sistemas desarrolla y demuestra leyes que pueden ser aplicables en una variedad de estos mismos. (Bertalanffy, 1976)

1.3 Progresos En La TGS

Bertalanffy (1976) hace referencia en su libro a que para que se diera un progreso significativo en la Teoría general de sistemas se dieron o surgieron al tiempo y junto a este, diversas líneas del conocimiento en las cuales se dieron grandes progresos, tales como:

(1) La cibernética, basada en el principio de retroalimentación o de líneas causales circulares, que proporciona mecanismos para la persecución de metas y el comportamiento auto-controlado.

(2) La teoría de la información, que introdujo el concepto de información como magnitud medible mediante una expresión isomorfa de la entropía negativa en física, y desarrolla los principios de su transmisión.

(3) La teoría de los juegos, que analiza, con un novedoso armazón matemático, la competencia racional entre dos o más antagonistas en pos de ganancia máxima y pérdida mínima.

(4) La teoría de la decisión, que analiza parecidamente elecciones racionales, dentro de organizaciones humanas, basadas en el examen de una situación dada y de sus posibles consecuencias.

(5) La topología o matemáticas relacionales, incluyendo campos no métricos tales como las teorías de las redes y de las gráficas.

(6) El análisis factorial, o sea el aislamiento, por análisis matemático, de factores en fenómenos multivariantes, en psicología y otros campos.

(7) La teoría general de los sistemas en el sentido más estricto (G.S.T. en inglés), que procura derivar, partiendo de una definición general de sistemas como complejo de componentes interactuantes, conceptos característicos de totalidad, organizados, tales como interacción, suma, mecanización, centralización, competencia, finalidad, etc., y aplicarlos entonces a fenómenos concretos. (p. 93 y 94)

1.4 Teorías o enfoques dentro de la Teoría General de Sistemas

Bajo la teoría planteada por Bertalanffy de la Teoría general de los sistemas se desarrollaron grandes y distintos enfoques, entre los que destacan la cibernética (N. Wiener), la teoría de la información (C. Shannon y W. Weaver), la teoría de los juegos (V. Neumann) y la dinámica de sistemas (J. Forrester) la cual miraremos más a fondo en los capítulos por venir.

1.4.1 La Cibernética

Al hablar de cibernética tenemos que hablar de Norbert Wiener, quien trabajo en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) desde 1932 a 1960. En 1948 publicó su obra "Cibernética: control y comunicación en el animal y en la máquina" en donde desarrolla toda la teoría de la cibernética. A este se le denomina como el padre y fundador de la Cibernética y define esta como una ciencia multidisciplinar para el análisis de los procesos similares que se dan en los seres vivos y las máquinas como el campo interdisciplinario que intenta abarcar el ámbito de los procesos de control y de comunicación (retroalimentación) tanto en máquinas como en seres vivos., como son el control de la información y las comunicaciones donde la información es el origen, el medio y el fin (Wiener, 1948).

Wiener (1948) afirma que las necesidades y la complejidad de la vida moderna plantean a este fenómeno del intercambio de informaciones, demandas más intensas que en cualquier otra época; la prensa, los museos, los laboratorios científicos, las universidades, las bibliotecas y los libros de texto han de satisfacerlas o fracasarán en sus propósitos, pues vivir de manera efectiva significa poseer la información adecuada, ya que si se cuenta con la información adecuada podemos disminuir la complejidad requerida para la satisfacción de las necesidades.

También se nos plantea un análisis sobre como el cuerpo humano puede estudiarse comparándolo con una maquina que posee complejos sistemas de control de información los cuales regulan los cambios de temperatura de nuestro cuerpo, liberación de adrenalina, etc. Y al tiempo que está formado de un poderoso y complejo sistema de comunicaciones eléctricas y químicas que interactúan al interior de nuestro cuerpo configurando y modificando nuestras respuestas nerviosas, nuestros ciclos hormonales entre otras funciones corporales. (Wiener, 1948)

Wiener (1948) afirma que uno de los principios básicos de la cibernética establece que la información es estadística por naturaleza y se mide de acuerdo con las leyes de la probabilidad. La medida de la probabilidad se conoce como entropía. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, en los procesos naturales existe una tendencia hacia un estado de desorganización, o caos, que se produce sin ninguna intervención o control. En consecuencia, el

orden lo cual es una disminución de la entropía es lo menos probable y el caos lo cual es un aumento de la entropía, es lo más probable. La conducta intencionada en las personas o en las máquinas exige mecanismos de control que mantengan el orden, para así contrarrestar la tendencia natural que tenemos hacia la desorganización. Wiener (citado por Dantur, 1992) dice que mientras la entropía crezca, el universo y todos los sistemas aislados del universo tienen una tendencia a deteriorarse y a perder su carácter distinto, el cual es el de cambiar de un estado menos probable hacia un estado más probable, de un estado de diferenciación y organización en el cual hay diferencias, hasta un estado sin diferencias y caótico.

Senge (2005) en su libro “La quinta disciplina en la práctica” nos dice lo siguiente:

Pero hay una forma del pensamiento sistémico que se ha vuelto sumamente valiosa como idioma para describir el logro de un cambio fructífero en las organizaciones. Esta forma, llamada “Dinámica de Sistemas”, fue desarrollada por Jay Forrester y sus colegas en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) en los últimos cuarenta años. Los métodos y herramientas que se describen en esta parte del libro -Eslabones y ciclos, arquetipos, modelación stock-and-flow tienen sus raíces en la dinámica de sistemas, que permite comprender que los procesos complejos de realimentación pueden generar conductas problemáticas dentro de las organizaciones y los sistemas humanos de gran escala”.(p.94)

1.4.2 La Teoría De Juegos

John Von Neumann (1903 – 1957), fue un matemático Húngaro-Estadounidense el cual realizó muchas de las contribuciones fundamentales en los campos de la física cuántica, la teoría de conjuntos, economía, cibernética, análisis numérico, análisis funcional, ciencias de la computación, estadística, hidrodinámica entre muchos otros. Desde la década de 1920 empezó a trabajar en la estructura matemática de juegos como el póker y se dio cuenta que los mismos teoremas que era aplicados a estos también podían ser aplicados a la política, la economía y otras ciencias. Tras un tiempo trabajando junto a Oskar Morgenstern (1902 – 1977), en 1944 Neumann y Morgenstern publicaron el libro “Teoría de Juegos y Comportamiento Económico” el cual aborda los temas de la teoría de la decisión estadística y la programación lineal. John Von

Neumann demostró matemáticamente a través de la prueba conocida como el “Teorema Minimax” que siempre hay un curso de acción racional para juegos de dos jugadores, con intereses completamente opuestos (win-lose). (López, 2012)

La teoría de juegos es una teoría matemática que estudia las características generales de las situaciones competitivas de manera formal y abstracta, la cual es útil para tomar decisiones en casos donde dos o más personas que deciden se enfrentan en un conflicto de intereses. Al estudiar la toma de decisiones en interacción, algunos de los ejemplos más funcionales para su explicación es por ejemplo el ajedrez, y en cuanto a situaciones más aplicadas al mundo real podríamos poner de ejemplo las negociaciones políticas y las estrategias militares, ya que para todos estos casos se deben tomar decisiones estratégicas para enfrentar un conflicto o situación que se nos está presentando, ya sea con el objetivo de ganar, llegar a un acuerdo o simplemente hacer una negociación. La teoría de juegos se ha dividido en dos partes: la teoría Cooperativa y la No Cooperativa. (López, 2012).

En la teoría de juegos No Cooperativa se asume que entre los jugadores no existe comunicación alguna que pueda llevar a un acuerdo o correlación entre los mismos, a menos que estos estén explícitamente estipulados por las reglas del juego, es importante hacer recomendaciones a cada uno de los jugadores, para que ninguno tenga incentivos para desviarse pues perdería. El cual es el planteamiento que hace John Forbes Nash Jr. (1928 - Actualidad) pionero del equilibrio en la teoría de juegos No Cooperativos, denominado “Equilibrio de Nash” el cual se conoce como el concepto más importante en la Teoría No Cooperativa y el estudio formal que realizó Nash en 1950, el cual le terminó otorgando a Nash el premio Nobel de Economía en 1994.

Un juego se define como “cualquier situación de decisión caracterizada por una interdependencia estratégica, gobernada por reglas y con un resultado definido” (López, 2012). Por ejemplo el resultado obtenido por una empresa después de la implementación de una estrategia no depende solo de la estrategia implementada por la misma, sino también de las implementadas por cada uno de sus competidores con sus distintos propósitos, cada participante involucrado en un juego intenta obtener el resultado que más le convenga según sus intereses, esto nos lleva a que todo juego es un problema de maximización para sus jugadores. ***La Teoría de Juegos al igual que muchas otras Teorías Generales, provee vinculaciones comunes. Nos***

muestra como situaciones que aparentemente son diversas tienen una misma estructura lógica. (López, 2012).

Algunas de las conclusiones a las que se llegó en una conferencia sobre la teoría de juegos y lo que ha planteado hasta el momento que a mi parecer son muy generales y acertadas son:

- La Teoría de Juegos consiste en razonamientos circulares, los cuales no pueden ser evitados al considerar cuestiones estratégicas. La intuición no educada no es muy fiable en situaciones estratégicas, razón por la que se debe entrenar.
- Hay dos tipos de respuesta, la del tipo educativo, los jugadores suponen que tienen al equilibrio como el resultado de razonar cuidadosamente y un segundo tipo de respuestas, las evolutivas, según éstas, el equilibrio se consigue, no porque los jugadores piensan todo de antemano, sino como consecuencia de que los jugadores miopes ajustan su conducta por tanteo cuando juegan y se repiten durante largos períodos de tiempo.
- Las estrategias maximin y minimax conducen a los dos jugadores del juego a situaciones en las que ningún jugador tiene razón o incentivo alguno para cambiar su posición.
- Se dice que un jugador posee una estrategia dominante si una estrategia particular es preferida a cualquier otra estrategia a disposición de él.
- Estrategia mixta es una combinación de dos estrategias escogidas a azar, una cada vez, según determinadas probabilidades, en contraste con una estrategia pura que no contiene tales elementos de azar.

(Contreras F., Noli A., Peralta G., Sandmann F & Simunic M., 2002)

1.4.3 La Teoría De La Información

La teoría de la información se creó en el año 1949, fruto de la unión del trabajo de Claude Shannon y Warren Weaver, el propósito de ambos es un objetivo explícitamente instrumental ya que pretenden lograr la máxima economía de tiempo, energía y dinero en el diseño de canales y señales térmicas de transmisión. El trabajo de Shannon y Weaver es considerado una de las

fuentes más importantes para los estudios en comunicación. Este fue desarrollado durante la segunda guerra mundial en los laboratorios de la empresa de telefonía Bell en Estados Unidos, para ellos los canales principales de comunicación eran el cable telefónico y la onda radial. En el modelo planteado por Shannon y Weaver se destacan sus características de simplicidad y linealidad, la idea fundamental de esta teoría, es que la información debe ser transmitida con la ayuda de un canal específico (línea telefónica, ondas hertzianas). Se estudió por una parte la información propiamente dicha, por otra las propiedades de los canales y finalmente las relaciones que existen entre la información a transmitir y el canal empleado para una utilización óptima de éste. (Fiske, 1985).

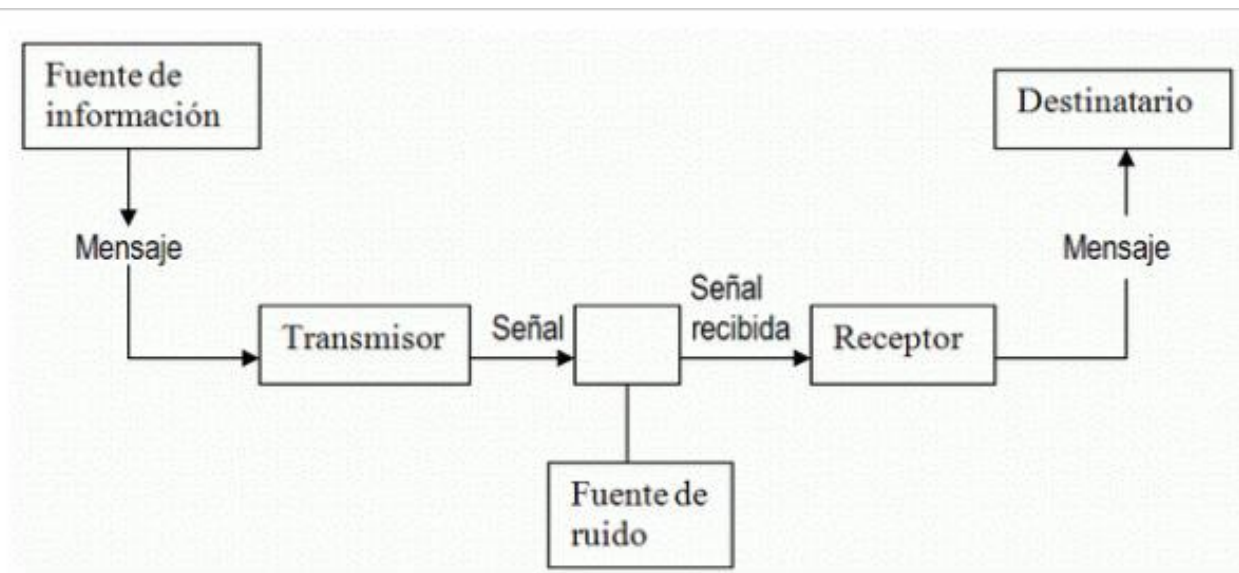


Ilustración 3: El modelo de Shannon y Weaver. (López, Parada & Simonetti, 1995)

Los elementos que conforman el modelo son:

Fuente De Información: selecciona el mensaje deseado de un conjunto de mensajes posibles.

Transmisor: transforma o codifica esta información en una forma apropiada al canal.

Señal: mensaje codificado por el transmisor.

Canal: medio a través del cual las señales son transmitidas al punto de recepción.

Fuente De Ruido: conjunto de distorsiones o adiciones no deseadas por la fuente de información que afectan a la señal. Pueden consistir en distorsiones del sonido (radio, teléfono), distorsiones de la imagen (T.V.), errores de transmisión (telégrafo), etc.

Receptor: decodifica o vuelve a transformar la señal transmitida en el mensaje original o en una aproximación de este haciéndolo llegar a su destino.

Destinatario: Es el verdadero receptor, a quien va dirigido el mensaje. (López, Parada & Simonetti, 1995).

1.5 Concepto De Organización

En la teoría general de los sistemas es fundamental abordar el tema de la organización y sus características ya que la TGS ve que la organización contiene ciertas características que se presentan independientemente de que sea un organismo vivo o una sociedad, tales como el crecimiento, la diferenciación, el control, la competencia y el orden jerárquico entre otras. Y en la mayoría de las organizaciones que podemos observar como lo son las empresariales, políticas o sociales, se pueden ver ciertos teoremas generales los cuales a su vez se han planteado matemáticamente en algunas ocasiones y se han llevado a cabo para ciertos aspectos. (Bertalanffy, 1986)

Las organizaciones son como organismos vivos y estas dos a su vez son vistas como sistemas abiertos, ya que al igual que los organismos vivos, las organizaciones también deben importar y procesar elementos (información, energía, materia) y al igual que estos tienden a enfermarse o tener una serie de problemas los cuales pueden ser diagnosticados para poder detectar sus causas. Para poder encontrar las causas y realizar dicho diagnostico se debe tener en cuenta el funcionamiento de la organización, ya que aunque cuando la mayoría de las veces el problema pareciera encontrarse en el lugar del cual salen las ordenes o se da la parte administrativa de la organización, generalmente el foco del problema se encuentra en otro lugar diferente al cual se encontró el problema. Para este proceso puede ser utilizado el análisis causal el cual parte de la consecuencia que se produjo hacia la causa principal, el cual exige que se dé un meticuloso

diagnostico organizacional para poder descubrir no solo el problema sino también sus características y posibles soluciones, sin embargo es necesario observar y analizar el proceso de implementación de la misma para que no se generen modificaciones o comportamientos inesperados. Para esto es necesario que en el diseño de la solución también conlleve una simulación previa de los efectos que causara. (Bertalanffy, 1986) (Parra, 2004)

Al tratar el problema sistémico de una organización se debe tener en cuenta que este es un organismo muy complejo, ya que hay poco campo para equivocaciones, pues cualquier error que se cometa, luego se pueden dar consecuencias a futuro de carácter exponencial. El análisis sistémico que se basa en los principios organizacionales, debe ser eficiente y dar solución a los problemas con el fin de lograr las metas y cumplir los objetivos. (Arango, 1997)

Arango (1997) hace la siguiente aproximación a la gerencia en las organizaciones vista desde un enfoque sistémico:

La ciencia de la dirección cuando es entendida como un desenlace propio de la realidad sistémica en la que se desenvuelve toda organización empresarial, indica que el todo de una organización no es fruto del azar, ni de la suerte; sino que dichos movimientos son la respuesta inteligente a un proceso de aprendizaje sistémico propio de la misma organización. (p.32)

Senge (1990) nos plantea el cómo debe existir un “Crecimiento Inteligente” como un concepto básico para todas las organizaciones, lo que genera que toda organización pueda analizar exhaustivamente la cultura en la cual se desempeña y la administración que se está llevando.

Capítulo II. La Dinámica de Sistemas

En este capítulo haremos una amplia revisión sobre todo lo que abarca la Dinámica de Sistemas, sus conceptos generales, su desarrollo etc. Además podremos aprender acerca de la historia de esta teoría y como Jay W. Forrester, considerado padre de la Dinámica de Sistemas a través de su

vida académica logro llevar esta teoría a ser una de las técnicas de modelamiento y simulación más usada por las empresas para poder optimizar los procesos al interior de estas. Analizaremos la metodología que nos plantea esta teoría y la forma de ver el mundo, las organizaciones y los procesos que tiene la misma, la cual es una forma diferente a otras teorías y es una de las particularidades de la misma.

2. La Dinámica De Sistemas y El Trabajo De Jay W. Forrester

La Dinámica de Sistemas es una poderosa metodología y técnica de simulación computacional de modelos para entender problemas complejos, la dinámica de sistemas fue desarrollada en los años cincuenta en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) por el ingeniero Jay Wright Forrester. Proviene de la Teoría general de sistemas la cual fue planteada por el autor Ludwig Von Bertalanffy a la cual el Profesor Jay W Forrester le dio continuidad y desarrollo planteando una teoría completa sobre la dinámica de sistemas en 1956 y el modelado de los sistemas existentes en el mundo. Ludwig Von Bertalanffy planteo esta teoría para ayudar a los gerentes a mejorar su entendimiento de los procesos industriales y Forrester le dio un desarrollo con una mirada mucho más amplia, además de ser como tal el formador de esta teoría.

Forrester no sólo es considerado el padre de la Dinámica de Sistemas, sino que es uno de los pioneros en el desarrollo de los computadores digitales ya que lideró el grupo del MIT que inventó la memoria de acceso directo (RAM) sobre la base del núcleo de ferrita.

La Dinámica de Sistemas es una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos. Una de sus características es el uso del computador para realizar sus simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo (Morlán, 2010).

Jay W Forrester formo un grupo de dinámica de sistemas en el instituto tecnológico de Massachusetts (MIT), Forrester llego a MIT en 1939 a estudiar Ingeniería Eléctrica. En la década de 1950 entro a formar parte de un grupo de Dinámica de Sistemas en la universidad. En 1956, Forrester aceptó una cátedra en la Escuela de negocios recién formada del MIT. Su objetivo inicial era determinar cómo su experiencia en la ciencia y la ingeniería podrían ser

aplicadas de alguna manera útil sobre las cuestiones básicas que determinan el éxito o el fracaso de las empresas. Por ejemplo la parte principal del método científico consiste en observar los resultados de ensayos cuidadosamente elaborados para los cuales el conocimiento en ingeniería es de gran ayuda puesto que ayuda a la construcción de dichos ensayos, en los que las condiciones experimentales han sido deliberadamente diseñadas ya que la estructura de un sistema determina su desarrollo, su éxito y su fracaso para centrarse en los elementos clave del mismo, con exclusión de todo lo demás. En consecuencia, la mayoría de las herramientas para la resolución de problemas que aprendemos en el sistema educativo y en nuestras carreras profesionales nos encaminan a dividir los problemas sin ver que en realidad los problemas son como los sistemas, un sistema contiene subsistemas y a su vez siempre está integrado dentro de un sistema mayor que hay que tener en cuenta. Lo que nos lleva a ver como el pensamiento sistémico es sumamente práctico y puede aplicarse a todos los aspectos de la vida. (Morlán, 2010)

Las percepciones de Forrester en las bases que tenía de ingeniería y administración, fue lo que llevó a la creación de la dinámica de sistemas y en gran medida fue usada por directivos de General Electric a mediados de la década de 1950, quienes tenían un problema endémico de cualquier empresa de fabricación que nadie había sido capaz de resolver, algunos meses las fábricas tenían tantos pedidos que no podían mantener el ritmo, incluso con grandes cantidades de horas extras. Otros meses que querían despedir a la mitad de su población. ¿Por qué no podían desarrollar un flujo constante de producción? ¿Por qué los pedidos suben y bajan?. En ese momento, los directivos de General Electric quedaron perplejos porque el empleo de esta en sus plantas de electrodomésticos en Kentucky exhibió un importante ciclo de tres años. De las simulaciones a mano de la estructura de retroalimentación de flujos y acciones de las plantas General Electric, que incluye la estructura de toma de decisiones corporativas existentes para la contratación y los despidos, Forrester fue capaz de demostrar cómo la inestabilidad en el empleo en General Electric se debió a la estructura interna de la empresa y no a una fuerza externa, como el ciclo económico. Estas simulaciones a mano fueron el comienzo del campo de la dinámica de sistemas. (Kleiner, 2008)

Durante el final de la década de 1950 y comienzos de 1960, Forrester y un equipo de estudiantes de postgrado se trasladaron al campo emergente de la dinámica de sistemas, de manera rápida,

desde la etapa de la simulación a mano a la etapa de modelado por ordenador formal. Richard Bennett creó el primer lenguaje de modelado de dinámica de sistemas en computación llamado SIMPLE (Simulación de problemas de administración Industrial con ecuaciones) a principios de 1958. En 1959, Phyllis Fox y Alexander Pugh escribieron la primera versión de DYNAMO (modelos dinámicos), una versión mejorada de SIMPLE y el lenguaje de la dinámica de sistemas que se convirtió en el estándar de la industria durante más de treinta años. Forrester publicó el primero y todavía clásico libro en el campo titulado “Industrial Dynamics” en 1961. (Chavez R., S.F.)

Desde finales de la década de 1950 hasta finales de 1960, la dinámica de sistemas se aplica casi exclusivamente a los problemas empresariales de gestión. En 1968, sin embargo, un hecho inesperado causó la expansión del campo más allá del modelado para organizaciones empresariales. John Collins, alcalde de Boston, fue nombrado profesor visitante de Asuntos Urbanos en el MIT. Collins había sido atacado por la poliomielitis durante los años 1950 en consecuencia requería una oficina en un edificio con acceso vehicular a nivel de los ascensores. Por casualidad, la oficina de Jay Forrester se encontraba en el mismo edificio de Collins y además en la oficina de al lado por lo tanto Collins se convirtió en el vecino de trabajo de Forrester y los dos comenzaron a tener conversaciones regulares sobre los problemas de las ciudades y cómo la dinámica de sistemas se podrían utilizar para hacer frente a los problemas.

La innovación de Forrester consistió en transferir el conocimiento de la teoría de control y realimentación de la Ingeniería Automática a otras áreas como la organización y las ciencias sociales, proponiendo una sencilla metáfora hidrodinámica para la representación de un sistema, abstrayendo las ecuaciones diferenciales que define un sistema no lineal. Es decir, la Dinámica de Sistemas representa matemáticamente nuestros modelos mentales siendo una fase posterior al desarrollo de dichos modelos mentales. Las principales aplicaciones de software para la Dinámica de Sistemas existentes en la actualidad, simulan el correspondiente modelo matemático por medio de métodos numéricos computacionales facilitando el análisis de su comportamiento e incertidumbre a través de una interfaz gráfica amigable. (Morlán, 2010, p.57)

El resultado de la colaboración de Collins-Forrester fue el libro titulado “*Urban Dynamics*”. El modelo *Urban Dynamics* presentado en el libro fue la primera aplicación no corporativa

importante de la dinámica de sistemas. El modelo era y es muy controvertido, ya que ilustra por qué muchas de las políticas urbanas conocidas son ineficaces o empeoraran los problemas existentes. Además, el modelo muestra que las políticas contra-intuitivas, es decir las políticas que parecen a primera vista ser incorrectas, a menudo producen resultados sorprendentemente eficaces. Por ejemplo, en el modelo *Urban Dynamics*, una política de construcción de viviendas de interés social crea una trampa de pobreza que ayuda a estancarse una ciudad, mientras que una política de derribar viviendas de bajos ingresos genera empleo y aumenta el nivel de vida de todos los habitantes de la ciudad en general.

La segunda aplicación no corporativa importante de la dinámica de sistemas se produjo poco después de la primera, en 1970 Jay Forrester fue invitado por el Club de Roma a una reunión en Berna, Suiza. El Club de Roma era una organización dedicada a la solución de lo que sus miembros describen como el "dilema de la humanidad" es decir, la crisis global que pueda aparecer en el futuro, debido a las exigencias de ser colocados en la capacidad de carga de la tierra (su fuentes de recursos renovables y no renovables y sus sumideros para la eliminación de contaminantes) y el crecimiento exponencial de la población mundial. En la reunión de Berna, a Forrester se le preguntó si la dinámica de sistemas se podría utilizar para hacer frente a la difícil situación de la humanidad. Su respuesta fue, por supuesto que podría.

En el avión de regreso de la reunión de Berna, Forrester creó el primer borrador de un modelo de dinámica de sistemas del sistema socio-económico del mundo, llamó a este modelo World1. A su regreso a los Estados Unidos, Forrester se dedicó a refinar World1 en preparación para una visita de los miembros del Club de Roma al MIT, llamó la versión refinada del modelo World2. Forrester publicó World2 en su libro titulado "*World Dynamics*" (1971).

Donella Meadows (1941-2001) biofísica y científica ambiental, es la autora principal de la obra "*Los Limites Del Crecimiento*" obra encargada por El Club de Roma al MIT, el cual es un informe económico y medio-ambientalista en el que cooperaron más de 17 profesionales los cuales eran unos de los más prestigiosos expertos de la época, la doctora Meadows se encontraba trabajando en el MIT en 1972 cuando fue publicado el libro, formando parte del equipo que produjo el modelo computacional global World3 para el Club de Roma y que además aportó las bases para el libro. En este nuevo modelos World3 se toman en cuenta otros factores que no se

tenían en cuenta en el anterior modelo, para que este fuera más completo. La simulación de World3 se muestra en el siguiente grafico:

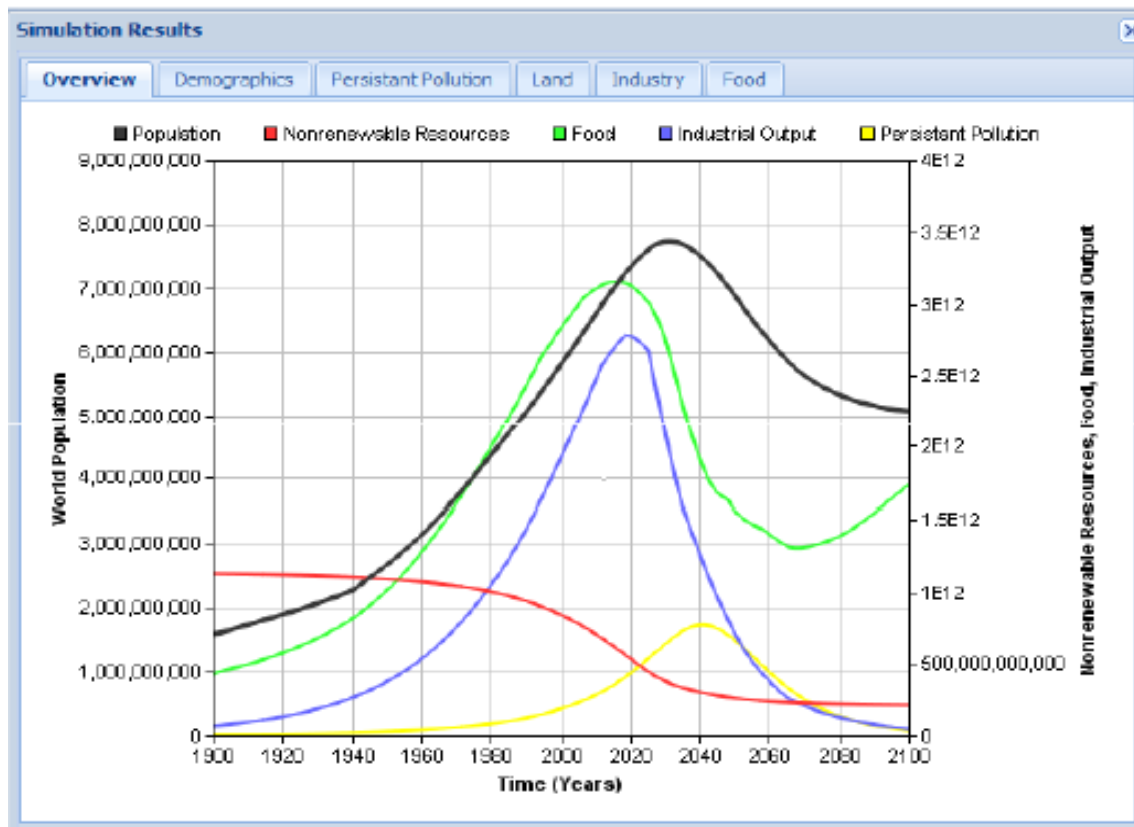


Ilustración 4: Dinámica de Sistemas. (Chávez R., S.F. p.32)

Algunas de las conclusiones del estudio publicado en la obra Los Limites del Crecimiento son las siguientes:

- Dentro de un lapso de tiempo menor a 100 años en el que no hayan mayores cambios en las relaciones físicas, económicas o sociales que han gobernado tradicionalmente el desarrollo mundial, la sociedad se quedara sin recursos no renovables de los cuales depende la base industrial.
- Una vez que estos recursos se hayan agotado, resultara un precipitoso colapso del sistema económico, el cual se manifestara en desempleo masivo, disminución en la producción de comida y un declive en la población al mismo tiempo que la tasa de mortalidad aumenta.

- Los autores sugieren que en caso de que se resolvieran los problemas de agotamiento de los recursos y contaminación al mismo tiempo, la población crecería sin freno y la disponibilidad de comida se convertiría en la restricción. Entre muchas más conclusiones e hipótesis de proyección a futuro. (Meadows, 1972).

Desde el principio “*World Dynamics*” atrajo una enorme cantidad de atención el modelo World2 asigna interrelaciones importantes entre la población mundial, la producción industrial, la contaminación, los recursos y los alimentos. El modelo mostró un colapso del sistema socioeconómico mundial en algún momento durante el siglo XXI, si no se toman medidas para reducir las demandas sobre la capacidad de carga de los recursos de la tierra. El modelo también se utilizó para identificar los cambios de políticas capaces de mover el sistema global a un estado relativamente de alta calidad que sea sostenible en el futuro.

Sus trabajos se resumieron en sus tres obras más trascendentales:

“Industrial Dynamics” [Forrester, 1961] que analiza diversos sistemas comerciales y de gestión como el control de inventarios, la logística y la toma de decisiones; “Urban Dynamics” [Forrester, 1969] que estudia los problemas de las sociedad urbana, como el hacinamiento y el deterioro de las ciudades; y “World Dynamics” [Forrester, 1971] que se dirige a problemas como el crecimiento demográfico y la contaminación a escala global. En 1970, en el primer Informe al Club de Roma se presenta el Modelo del Mundo, coordinado por el matrimonio Meadows utilizando Dinámica de Sistemas [Meadows, 1972]. Estos trabajos y su discusión popularizaron y dieron inicio a un gran acogimiento para la Dinámica de Sistemas a nivel internacional. El primer libro de Forrester, “Industrial Dynamics” [Forrester, 1961], sigue siendo una declaración elemental de la filosofía y metodología de la disciplina así como el gran comienzo de esta teoría. (Morlán, 2010, p.56)

Durante los últimos veinte años Jay Forrester se ha centrado principalmente en dos áreas: la creación de un modelo de dinámica de sistemas para la economía de Estados Unidos y la extensión de la dinámica de sistemas desde la formación para el kindergarten hasta la educación secundaria. Forrester ve el proyecto que lleva a un nuevo enfoque de la ciencia económica y una comprensión fundamental de la forma en que los sistemas macroeconómicos funcionan. Él ve a este último proyecto como crucial, no sólo para la salud futura del campo de la dinámica de sistemas, sino también para el futuro de la salud de la sociedad humana. Aunque el modelo económico nacional de Forrester sigue inconcluso algunos principios y resultados intermedios se han publicado. El más notable de los resultados es que el modelo genera un ciclo económico de cuarenta a sesenta años o "onda larga" que no sólo explica la Gran Depresión de la década de 1930, pero también muestra que las depresiones económicas profundas son una característica repetitiva de las economías capitalistas . El modelo de Forrester muestra que la economía de Estados Unidos está empezando a salir de la depresión de la última recesión de onda larga.

2.1 Dinámica en las Organizaciones

En la perspectiva que nos plantea la Dinámica de Sistemas el estudio de las organizaciones se aborda mediante un proceso de construcción de modelos, el cual obtiene gradualmente una mayor comprensión de la dinámica de la empresa, lo cual es un proceso de aprendizaje organizacional que se soporta en la construcción de los modelos y en la experimentación simulada de los mismos. El enfoque de sistemas debe poseer características gráficas que faciliten la interacción de cada una de las partes en el sistema. El análisis sistémico basado en los principios organizacionales debe tener la capacidad de ser eficiente y dar soluciones a los problemas a fin de lograr los objetivos trazados. (Morlán, 2010).

Para disminuir el riesgo en la toma de decisiones organizacionales surgió, a partir de los trabajos pioneros del profesor Forrester, toda una metodología para construir “mundos simulados” sobre los cuales se pueden tomar decisiones y mirar cómo evoluciona su comportamiento. Los mundos simulados se han venido a llamar micromundos o mundos virtuales. (Parra, 2004)

Toda organización empresarial tiene una serie de eventos que ocurren al interior de la misma, los cuales vistos desde la gerencia conforman una realidad sistémica que genera ciertos movimientos, los cuales son respuestas inteligentes al proceso de aprendizaje sistémico que se está dando al interior de la organización. (Senge, 1990)

Las organizaciones son como organismos vivos es decir sistemas abiertos que al igual que estos tienden a enfermarse y solo a través de la generación de un diagnostico es posible detectar las causas. Este diagnostico debe tener en cuenta la autonomía de la organización lo que conlleva la estructura real de las interacciones y las relaciones que se dan entre los individuos que componen la organización. Es muy común que sea una unidad administrativa la que genera falencias a otra unidad administrativa, es decir que el foco de infección de la cual padece la organización, se encuentra separadamente del lugar en que se descubren los hechos. (Bertoglio, 2004)

El análisis causal exige que se dé un buen diagnostico organizacional y que este a su vez no solo descubra el problema sino que también nos muestre características y defina el problema y sus posibles soluciones, sin embargo el tratamiento no termina ahí, es necesario observar y analizar el proceso de implementación de tal forma de que no aparezcan efectos secundarios negativos a causa de dicho proceso de implementación, para esto es necesario que en el diseño de la solución simule los efectos con el fin de poder descubrir su presencia y anticipar su ejecución y modificación. (Arango, 1997).

"Es evidente que cualquier cambio que se realice dentro de cualquier organización (Incluyendo aquí al ser humano) provoca al comienzo perturbaciones que generalmente se reflejan en una baja de la eficiencia y por lo tanto, en una disminución de la corriente de salida principal (cualquiera que esta sea) del sistema". (Bertoglio, 2004, p.238)

2.2 Conceptos básicos de la Dinámica de Sistemas

La dinámica de sistemas es una disciplina direccionada hacia la ciencia, la educación, la ley, la ingeniería, la medicina entre otras. (Forrester, 2009).

El modelar es algo que todos los seres humanos hacemos. Los niños crean modelos de plastilina, legos, bloques, tarjetas, arena y demás jugos similares. Los ingenieros crean modelos para los automóviles, los modelos metálicos de aviones, modelos de madera de puentes, modelos de plástico de las ciudades, los modelos hechos a mano de los edificios, y los modelos informáticos de la mayoría de las cosas que crean. Los científicos naturales crean modelos físicos de moléculas, el cuerpo humano y el sistema solar y los modelos matemáticos y / o escritos de la evolución del universo. Los científicos crean computadores y modelos de escritos de la mente, los modelos matemáticos e informáticos de la economía y los modelos físicos de las civilizaciones antiguas. Los gerentes construyen modelos financieros con los programas de hojas de cálculo y aplicaciones de bases de datos. Dramaturgos crean modelos que capturan aspectos de la condición humana así como en todas y cada una de las áreas de desempeño del hombre se utilizan modelos constantemente para lograr el objetivo que se tenga. Es por lo mismo que cuando tenemos un problema que nos parece demasiado grande y complejo, tratamos de buscar algún orden y/o estructura en este para lograr simplificar dichas situaciones complejas y lograr enmarcar las soluciones dentro de un modelo que hallemos más flexible y abierto.

Siempre hablamos de sistemas, sistemas económicos, sistemas sociales, sistemas computacionales, sistemas de ecuaciones etc. Pero no nos damos cuenta de cómo todo lo que nos rodea está compuesto por sistemas y que estos sistemas son los que nos ayudan a afrontar todos los problemas que se nos presentan. (Forrester, 2009)

Los seres humanos crean modelos por gran variedad de razones, los modelos son simplificaciones de la realidad y por lo general ayudan a las personas a clarificar su pensamiento y mejorar su comprensión del mundo. Los modelos pueden ser utilizados para la experimentación, un modelo de computadora, por ejemplo, puede comprimir el tiempo y el espacio y permitir que muchos cambios en el sistema puedan ser probados en una fracción del tiempo que tomaría probarlos en el mundo real. Además probar los cambios sobre un modelo, en lugar de en un sistema real, es una buena forma de evitar errores reales, es decir si un cambio no se desempeña bien en un modelo de un sistema, es cuestionable en cuanto a si va a funcionar bien en el sistema en sí una vez aplicado. Además, la experimentación en el modelo puede evitar causar daño a un sistema real, aun cuando el cambio que se está probando resulta ser correcto.

Aunque tal vez sea evidente por sí mismo que los seres humanos crean y utilizan modelos formales con regularidad, es menos obvio que creamos y utilizamos modelos informales o modelos mentales regularmente. Más precisamente los seres humanos no tienen familias reales, clubes, iglesias, universidades, empresas, ciudades, estados, los sistemas socioeconómicos nacionales sino representaciones mentales de estos sistemas al interior de sus cabezas. la dinámica de sistemas por ejemplo sugiere que los responsables políticos deben decidir si desean o no tomar decisiones sobre la base de los resultados obtenidos a partir de sus modelos mentales sin ayuda o de los resultados obtenidos a partir de una combinación de los modelos formales y mentales, los cuales llevan a una construcción de una visión compartida y a un aprendizaje en equipo para lograr hacerle frente a los problemas que se presenten. (Senge, 1990).

Ambos modelos formales y modelos mentales tienen muchas fortalezas y debilidades. Los modelos mentales son flexibles, ricos en detalles y contruidos a partir de la fuente más abundante y valiosa de información en el mundo: la experiencia (datos) recogidos en nuestros cerebros. John Sterman (2000), profesor de dinámica de sistemas prominente en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, señala que los grandes sistemas de la filosofía, la política y la literatura son, en cierto sentido, conformados por los modelos mentales.

La solución al "problema de modelo mental" según la dinámica de sistemas, es que las personas que toman las decisiones puedan plasmar sus modelos mentales en el ordenador a través de la dinámica de sistemas y dejar que el ordenador pueda realizar la simulación. A través de la interacción con el ordenador, las personas que toman las decisiones pueden mejorar sus modelos mentales y aprender sobre el sistema que ellos están tratando de entender y controlar. De hecho, en la dinámica de sistemas, el proceso de modelado es visto como algo más valioso que el modelo en sí. (Morlan, 2010)

La dinámica de sistemas proporciona los elementos básicos necesarios para construir modelos que nos enseñan cómo y por qué los complejos sistemas del mundo real se comportan de la manera que lo hacen con el tiempo. Para nosotros, el objetivo es aprovechar este conocimiento añadido para diseñar y aplicar políticas más eficientes y eficaces, Para entender el comportamiento dinámico de un sistema, sus existencias físicas y de información clave, flujos y estructuras de retroalimentación deben ser identificados. La dinámica de sistemas tiene que ver con el comportamiento de un sistema en el tiempo. Un paso crítico en el examen de un sistema o

un problema es identificar sus patrones fundamentales de conducta, lo que también se define como "trayectoria en el tiempo". Siempre se debe examinar el significado de la trayectoria en el tiempo y considerar los tipos generales de desarrollo que se encuentran comúnmente en los sistemas dinámicos. (Forrester, 2009)

Muchos principios conforman la fundación de la Dinámica de Sistemas y se convierten en una base para el pensamiento en muchos campos.

Dinámica de Sistemas

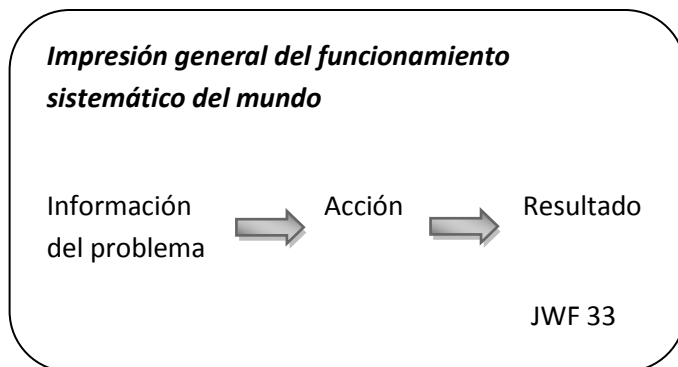


Ilustración 5: Impresión del mundo en un circuito abierto. (Forrester, 2009)

Acá podemos observar la naturaleza del circuito de retroalimentación. Pocas veces las personas se dan cuenta de lo profundo de la existencia de los bucles de retroalimentación en el control de todo lo que cambia con el pasar del tiempo. La mayor parte de las personas tiene un pensamiento lineal, no piensan en la retroalimentación de los sistemas en los cuales se encuentra todo, esto es lo que nos muestra la imagen, por lo general las personas ven un problema, piensan en alguna acción a tomar, esperan un resultado y dan como terminado el proceso. Es así como se perciben las situaciones y problemáticas en la mayoría de campos tales como los negocios, el gobierno etc. (Forrester, 2009).

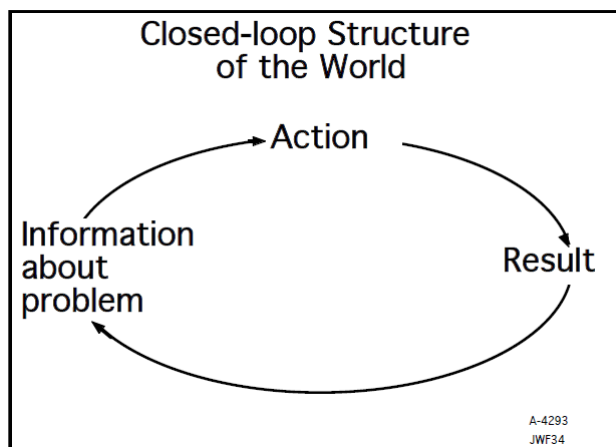


Ilustración 6: Estructura mundial como un circuito cerrado. (Forrester, 2009)

Una percepción más realista sería la de la figura 6, en la cual se muestra un sistema en el cual se presenta un problema, se toman las acciones pertinentes y esto nos lleva a un resultado, lo cual conlleva futuros problemas y acciones por tomar. De este modo no habría un inicio o un fin en el circuito. (Forrester, 2009).

Vivimos en un complejo sistema de circuitos de retroalimentación que interactúan entre sí. Cada acción o cambio en la naturaleza está ajustado dentro de una red de retroalimentación de circuitos, en los cuales se ocurren todos los cambios. (Forrester, 2009)

Figura 7:

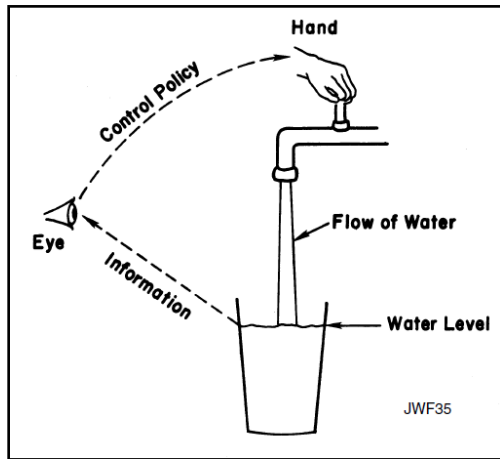


Ilustración 7: Fuente: Esquema vaso de agua. (Forrester, 2009).

Forrester (2009) nos presenta un ejemplo muy sencillo sobre como el llenar un vaso de agua no es solo poner agua en un vaso, sino que esto nos representa un proceso de control en el cual nuestra vista nos brinda la información para que nuestra mano controle la perilla del grifo, la cual es la que maneja el flujo de agua y así mismo nuestra vista es la que nos permite controlar el nivel de agua en el vaso para no rebosarlo. Este tipo de circuitos cerrados son los que controlan todas las acciones existentes.

Figura 8:

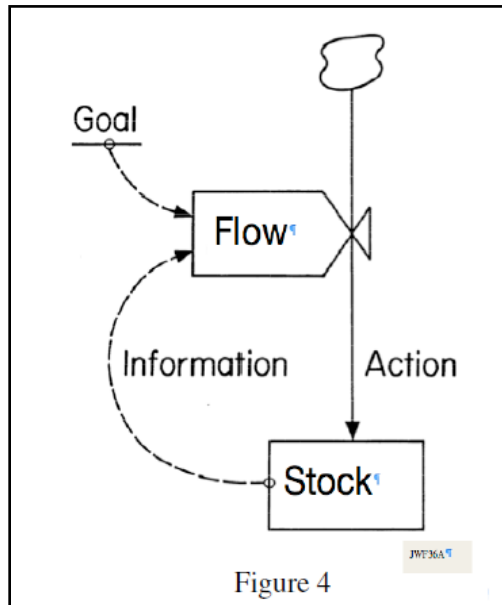


Ilustración 8: sistema de retroalimentación (Forrester, 2009).

La figura 8 nos muestra el sistema de retroalimentación más sencillo que puede haber. En la figura, Forrester nos muestra dos símbolos, los existente y el flujo. Lo existente es una acumulación, nivel o integración, para elegir una terminología de diferentes campos. El flujo cambia la cantidad de lo existente, el cual es determinado por una declaración que nos dice como el flujo está controlado por el valor de lo existente, en comparación a la meta. (Forrester, 2009).

Forrester dice que todos los sistemas existentes constan de estos dos tipos de conceptos: lo existente (acciones) y los flujos, nada más. Dicha enunciación, de que solamente existen dos tipos de variables en un sistema es muy importante en cuanto a la simplificación de nuestra forma de ver el mundo.

Las personas que tienen conocimiento de declaraciones contables, tales como las que presentan las empresas anualmente, pueden reconocer dos tipos de variables. Ya que estos reportes anuales

se presentan en dos partes: una con el balance general de la empresa y otra con la declaración de ganancias y pérdidas.

Todos los números que se presentan en el balance general son acciones que representan acumulaciones que han evolucionado con el tiempo. La declaración de ganancias y pérdidas representa los flujos que causaron que las acciones cambiaran. No hay nada más que sea relevante al momento de hacer estas declaraciones y comparaciones, solamente la parte que nos muestra las acciones y la parte que nos muestra los flujos. Esta estructura de contabilidad nos muestra una verdad fundamental sobre todos los sistemas.

El agua en un vaso es una acción (lo existente), el flujo de agua cambia la acción o lo existente, así como la reputación de una persona como lo plantea Forrester, la cual es una acción que cambia por el flujo de sus buenos o malos actos. (Forrester, 2009)

2.3 Sistemas Complejos

Los sistemas de retroalimentación trabajados anteriormente son muy simples para poder hacer la representación de una situación en el mundo real.

Si observamos un sistema solo cinco veces más grande que el observado en la figura 4, la complejidad del mismo no nos permite poder deducirlo a simple vista ni anticipar el comportamiento del sistema. (Forrester, 2009).

La figura 9, la cual nos plantea Forrester en su libro “World Dinamycs” al tener 5 acciones, se vuelve mucho más compleja que la figura 8, y nos muestra lo rápido que se puede complicar un sistema al tener mas y mas acciones (figuras rectangulares) dentro de este. El sistema mostrado en la figura 9 seria descrito por los matemáticos como un sistema dinámico no lineal de 5to orden. Esta figura nos muestra la interacción que se da entre la Población, inversión de capital, agricultura, recursos y polución.

Figura 9:

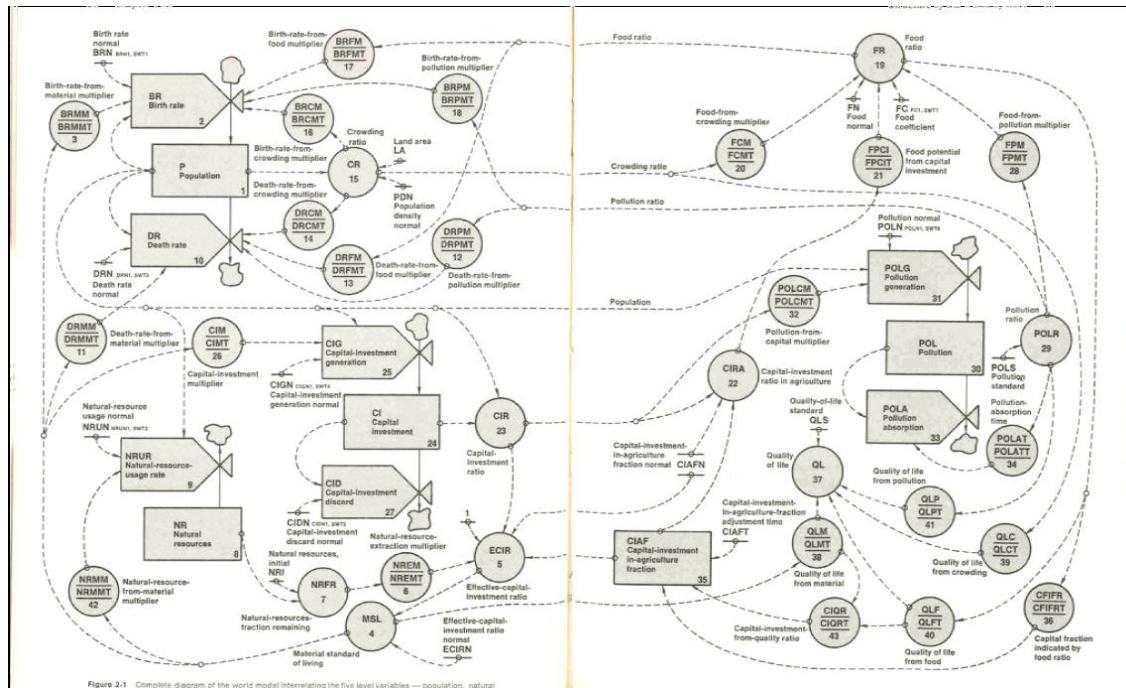


Ilustración 9: World2. (Forrester, 2009).

2.4 Todos Usamos Modelos

Forrester (2009) nos dice que todas las acciones se basan en modelos, los modelos mentales son basados en la actividad humana. Su mayor fortaleza es que se puede almacenar grandes cantidades de información, y su mayor debilidad es que no se puede confiar totalmente en el manejo de la complejidad y el cambio dinámico.

Todas las decisiones que tomamos, se hacen a través de modelos mentales, aunque estas decisiones se toman en base a cosas que asumimos a partir de toda la información que tenemos en nuestra mente, y de esta forma junto con nuestra propia intuición es que podemos realizar nuestra toma de decisiones.

La dinámica de sistemas nos muestra dos formas de comunicación entre los modelos mentales y los modelos de simulación. Los modelos mentales contienen una enorme cantidad de

información y son la base para las decisiones del día a día, pero la mente humana no es 100% confiable en cuanto a la comprensión de la información, por esto la simulación computacional va muy bien con los modelos mentales, ya que puede tomar la información almacenada para luego mostrar las consecuencias dinámicas.

La simulación computacional hace que los modelos mentales puedan ser explícitos y así logra descubrir sus inconsistencias, determinar implicaciones a futuro y mejorar los modelos mentales. (Forrester, 2009)

2.5 Modelos Computacionales

La traducción de un modelo mental a uno de simulación de dinámica de sistemas tiene varias etapas:

Primera etapa: El modelo se debe crear sin inconsistencias lógicas, todas las variables deben estar definidas pero no más de una vez, las ecuaciones no pueden ser ambiguas, las unidades de medida deben ser las mismas a ambos lados de la ecuación, la mayoría de las aplicaciones de software de dinámica de sistemas revisan y encuentran estos errores lógicos. (Forrester, 2009).

Segunda etapa: la primera simulación de un modelo puede que los resultados sean absurdos ya que a veces el resultado de sistemas como un colegio lleno de estudiantes puede dar negativo, lo cual no es lógico en el mundo real, así que se debe volver a revisar el planteamiento y la estructura del modelo para volverlo más refinado y así más realista. (Forrester, 2009).

Tercera etapa: Cada que un modelo se vuelve mejor, el comportamiento sorpresivo usualmente no revela los errores del modelo, en cambio comienza a mostrarnos algo de la vida real que no se había realizado anteriormente. (Forrester, 2009).

En el libro “Urban Dynamics” de Forrester cuando trató el tema del crecimiento y estancamiento de las ciudades, añadió un programa de entrenamiento laboral al modelo, en el cual simplemente cogió gente sin entrenamiento alguno y subempleados y los puso en un nivel de personal calificado. Esto provoco que la tasa de desempleo aumentara inexplicablemente pero luego de

que Forrester investigara con sus compañeros, se entero de que ciudades con muy buenos programas de entrenamiento laboral eran las que tenían los índices de desempleo de más rápido crecimiento. Luego de este le hizo la pregunta acerca de este tema a gente que se dedicaba a manejar estos negocios de entrenamiento laboral los cuales le dieron la misma respuesta, que dichos programas incrementan el índice de desempleo en la ciudad en la que se está llevando a cabo y por lo tanto ellos tienen que estar moviéndose de ciudad en ciudad. Entonces luego de hacer algunos análisis se puede ver que el programa de entrenamiento llevaba a que las mismas empresas dejaran de proveer entrenamiento a sus empleados, además separo mas la población calificada de la que no lo está y también atrae gente de fuera de la ciudad que incrementa el número de personas que hay para cada empleo, pero no el número de empleos disponibles. (Forrester, 2009).

2.6 Fuentes De Información

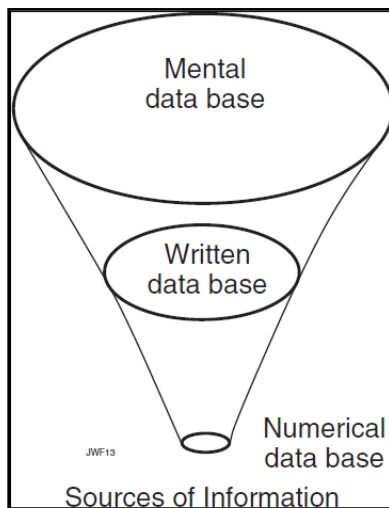


Ilustración 10: Fuentes de información. (Forrester, 2009).

En las fuentes de información, se consideran todas las bases de datos disponibles o fuentes que nos permitan construir modelos de simulación computacional. Forrester nos plantea que la tienda más grande de información existente en el mundo está en la mente de las personas, ya que si nos

ponemos a pensar, las familias, universidades, negocios y países, operan con la información en las mentes de las personas, información que han obtenido a través de la participación, aprendizaje y entrenamiento en cada uno de estos entornos. Basado en esto es que Forrester nos plantea que la fuente de información más grande es la base de datos mental, un más grande que las bases de datos escritas como libros, enciclopedias, revistas etc. Aunque las bases de datos escritas tengan una descripción más exacta e informativa sobre cómo opera la sociedad y demás hechos del mundo. (Forrester, 2009).

2.7 Estructuras Genéricas O Transferibles

Forrester (2009) nos plantea que las estructuras genéricas son transferibles entre el pasado y el presente y de un escenario a otro. Un pequeño número de estas cubre una amplia gama de situaciones y una vez que se logra entender una, se pueden entender todas, es por esto es que esta es una de las bases para una educación efectiva. Las estructuras genéricas le permiten a una persona el poder de moverse entre situaciones y utilizar el aprendizaje que tiene en un área y aplicarlo a otras situaciones.

Forrester nos plantea ejemplos en los cuales nos explica cómo hasta un procedimiento médico experimental en humanos, podría ser modelado mediante la dinámica de sistemas para que así nos mostrara las consecuencias y efectos del mismo sin necesidad de poner en riesgo paciente alguno. (Forrester, 2009).

2.8 Fases Para La Modelación De Un Problema Desde La Dinámica De Sistemas

Los modelos de Dinámica de Sistemas recrean situaciones reales en mundos virtuales, en los cuales se puede observar el impacto de los cambios en el sistema de forma inmediata, lo que permite replantear acciones y, por ende, tomar mejores decisiones respecto de una situación real (Stermán, 2000).

La Dinámica de Sistemas tiene una metodología propia para el proceso de modelado y análisis que se resume en las siguientes cuatro fases:

2.8.1 Fase 1. Identificar el Problema.

En la primera fase denominada de identificación del problema y análisis del comportamiento, debemos especificar claramente el problema, el proceso debe comenzar por definir y delimitar los límites del sistema de acuerdo a la pregunta o preguntas específicas a las que se buscamos respuesta para lo cual se debe recopilar información y enumerar todas las variables que consideramos adecuadas para el sistema, luego debemos identificar las variables clave cuya variación en el tiempo se desean estudiar y que ayuden a definir los límites referidos del sistema así como la estructura de retroalimentación en la cual trabaja su dinámica. Conviene describir los comportamientos característicos del sistema, denominados modos de referencia, que muestren la evolución temporal de las variables. En esta primera fase es muy importante todo lo que pueda aportar el conocimiento de los expertos en el área de aplicación así como referencias de otros modelos similares ya existentes. (Morlán, 2010).

2.8.2 Fase 2. Desarrollar una hipótesis Dinámica que explique la causa del problema.

En la segunda fase denominada fase de modelado cualitativo o causal del sistema, se elabora una hipótesis dinámica o causal.

Esto implica definir las influencias que se producen entre los elementos que integran el sistema. No es hasta que se empieza a enlazar las relaciones causales que se obtiene una visión del modelo. Se necesita saber de qué dependen las otras variables en las que se quiere influir. Es decir, hay que entender cómo funcionan unidas las relaciones causales entre las variables de un sistema.

El resultado de esta fase es el establecimiento del Diagrama de Influencias o Diagrama Causal (CLD, *Casual Loop Diagram*), el cual debe mostrar las relaciones básicas en forma de bucles de realimentación junto con los potenciales retardos. Sin embargo, un Diagrama Causal no recoge otras características como información sobre el tiempo de simulación o sobre la naturaleza y magnitud de las variables.

(Morlán, 2010, p.62)

2.8.3 Fase 3. Construir un modelo de simulación del sistema.

La tercera fase se denomina de modelado cuantitativo en la cual se debe incluir la raíz del problema:

Un Diagrama Causal no es suficiente para apreciar el comportamiento de un sistema donde se entiende que el comportamiento es la manera en que las variables del modelo varían a lo largo del tiempo. Por tanto es necesario incorporar información sobre el tiempo y las magnitudes de las variables.

El objetivo final es poder simular el modelo porque la realidad no permite dar marcha atrás en el tiempo para cambiar las cosas, pero un modelo de simulación permite modificar la estructura del mismo y analizar su comportamiento bajo distintas condiciones. La Dinámica de Sistemas proporciona dicho entorno donde poder probar los modelos mentales que se tienen de la realidad mediante el uso de la simulación por computador. La idea de poder simular situaciones de la vida real es un concepto muy atractivo que facilita y estimula el aprendizaje.

Por lo tanto, al final de esta fase se debe disponer de un modelo matemático, o Modelo Cuantitativo, del sistema para ser simulado en un computador. Para ello se debe traducir el Diagrama Causal a un Diagrama de Forrester que es un paso intermedio para la obtención de las ecuaciones matemáticas que definen el comportamiento del sistema. Durante este proceso se amplía y especifica la

información aportada por el Diagrama Causal caracterizando las diferentes variables y magnitudes, estableciendo el horizonte temporal, la frecuencia de simulación y especificando la naturaleza y alcance de los retardos. Además se considera una buena práctica de diseño no dar por definitivo el Diagrama Causal hasta no haber desarrollado el Diagrama de Forrester ya que en el proceso de conexión y ajuste de los niveles y flujos se pueden rectificar relaciones que no se habían precisado o advertido dado que el Diagrama Causal es una visión más agregada del modelo.

(Morlán, 2010, p.69)

2.8.4 Fase 4. Evaluación y análisis del modelo.

Por último la cuarta fase del proceso de modelado se denomina fase de evaluación y análisis del modelo en la cual el modelo es validado comparando su comportamiento con otros ya existentes en el mundo, se prueba el modelo y se implementa la solución:

En esta fase se somete el modelo a una serie de pruebas y análisis para evaluar su validez y calidad. Los análisis pueden ser diversos y comprenden desde la comprobación de la consistencia lógica de las hipótesis que incorpora hasta el estudio del ajuste entre las trayectorias generadas por el modelo y las identificadas en la primera fase. Así mismo, se incluyen análisis de sensibilidad que permiten determinar cuáles son los factores que más influyen en el comportamiento del modelo.

En definitiva, una vez que se ha construido el Modelo Cuantitativo conviene verificar, por un lado, que el conjunto de ecuaciones sistémicas no contiene errores y validar, por otro, que el modelo responde de forma fiable a las especificaciones planteadas en la fase de análisis del modelo conceptual.

¿Qué se entiende por validación en Dinámica de Sistemas?

A la hora de evaluar la conformidad y adecuación de los modelos de Dinámica de Sistemas, conviene tener clara la diferencia entre los conceptos de verificación y de validación.

La verificación se enfoca hacia la coherencia interna del modelo. Se trata de comprobar la implementación de las instrucciones de simulación que va a ser ejecutado en un computador, es decir, si se ha construido correctamente el modelo.

La validación consiste en cotejar la adecuación entre el comportamiento del modelo simulado y los requerimientos previstos por los usuarios finales. En otras palabras, comparar la ejecución del modelo programado con lo esperado, es decir, si se ha construido el modelo correcto. La validación engloba a la verificación. Un modelo no puede ser válido si no ha sido verificado. Sin embargo, un modelo verificado puede ser inválido si representa un propósito erróneo, aunque sea sintácticamente correcto.

No existen un método universal para validar los modelos de simulación dinámica porque cada modelo se valida con respecto a sus objetivos, por lo que no se puede afirmar que un modelo válido para un contexto deba serlo necesariamente para otros. Además, aunque en teoría, un modelo puede ser válido o no, probar esto en la práctica en una cuestión muy diferente (...)

Por eso mismo se habla de la confianza que pueda generar el modelo. Por lo tanto, más que intentar demostrar que un modelo sea correcto lo que se hace es probar que el modelo no sea incorrecto. Es decir, el objetivo de la validación es aumentar la confianza en el modelo y sus resultados.

(Morlán, 2010, p.76 y 77)

Capítulo III. Aplicaciones de la Dinámica de Sistemas

3. Principales Aplicaciones de Software para la Dinámica De Sistemas

Para apoyar el proceso de modelación y simulación con dinámica de sistemas existen herramientas computacionales y software que han hecho posible el uso y la difusión de esta práctica en sectores diversos como la educación, la investigación, la empresa, lo ambiental y lo social, entre otros. (Andrade, Lince, Hernández, & Monsalve, 2011).

Las principales aplicaciones de software para la Dinámica de Sistemas existentes en la actualidad son: **Vensim®**, **Powersim Studio™** o **iThink®/STELLA®**.

Esta es una breve descripción de lo que es el software Vensim®:

Vensim es una herramienta visual de modelaje que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas. Vensim provee una forma simple y flexible de construir modelos de simulación, sean lazos causales o diagramas de stock y de flujo.

Mediante la conexión de palabras con flechas, las relaciones entre las variables del sistema son ingresadas y registradas como conexiones causales. Esta información es usada por el Editor de Ecuaciones para ayudarlo a completar su modelo de simulación. Podrá analizar su modelo siguiendo el proceso de construcción, mirando las causas y el uso de las variables y también siguiendo los lazos relacionados con una variable. Cuando construye un modelo que puede ser simulado, Vensim le permite explorar el comportamiento del modelo.³

Vensim se utiliza para desarrollar, analizar, y empaquetar los modelos dinámicos de retroalimentación, se destaca por ser de alta calidad, con consistencia y realidad controles dimensionales, las conexiones a los datos y métodos de calibración sofisticados, salida

instantánea con simulación continua en SyntheSim, publicación Modelo flexible, análisis del modelo, incluyendo la optimización y simulación de Monte Carlo.

Vensim contiene muchos avances técnicos líderes en la industria de la tecnología de simulación: Causal Tracing, Subíndices, Optimización, Venapp Simuladores de vuelo (Ambientes de Aprendizaje), los algoritmos de asignación de recursos (ALLOC P)

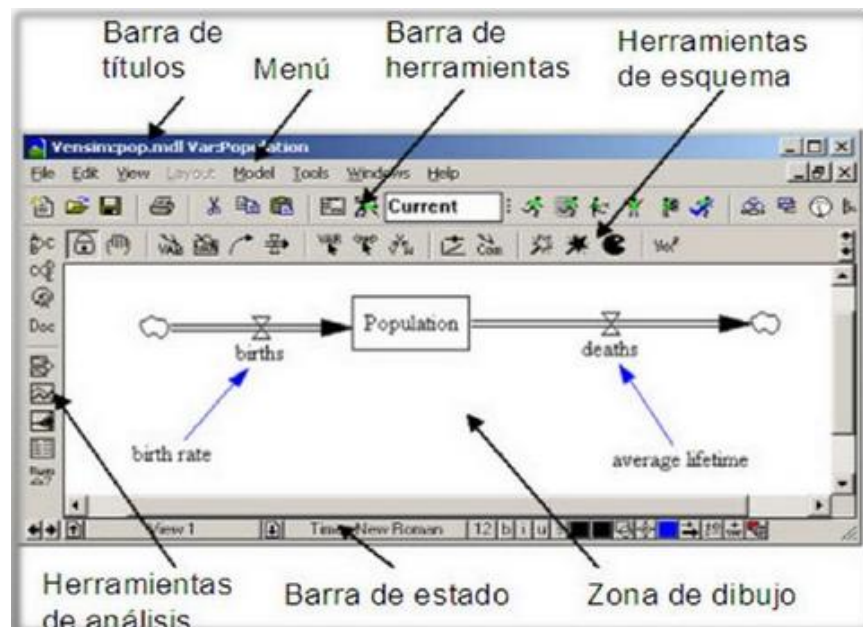


Ilustración 11: *Presentación Software Vensim®*. (Bonilla M., Cortes M. & Madrigal K., 2010)

Morlán (2010) nos cuenta por ejemplo como para construir el Diagrama Causal, los diagramas de Forrester, el modelo matemático y para su posterior simulación comúnmente es utilizado el entorno de simulación dinámica Vensim® (<http://www.vensim.com/>) de Ventana Systems Inc., concretamente la configuración Vensim® PLE Plus el cual es un software integrado que proporciona un entorno gráfico que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica de Sistemas. La aplicación Vensim® PLE Plus, de entre el conjunto de herramientas de análisis de que dispone, proporciona dos herramientas para verificar el modelo. Por un lado dispone de una función para revisar la sintaxis del modelo (*Check Model*) y por otro de una función para detectar errores en la coherencia de las unidades (*Units Check*).

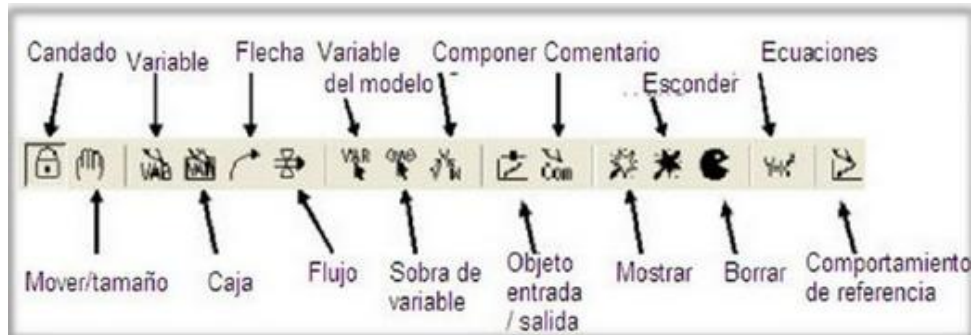


Ilustración 12: *Presentación Software Vensim®*. (Bonilla M., Cortes M. & Madrigal K., 2010)

A través de estas aplicaciones del software el objetivo es poder analizar, cómo el cambio de una variable incide en el resultado y de esta forma detectar las variables críticas que más afectan al resultado, para las cuales el modelo es más sensible de esta forma se pueden encontrar las variables que tienen poca influencia en el comportamiento del modelo. (Morlán, 2010)

Morlán (2010) nos plantea él como la aplicación Vensim® PLE Plus proporciona la herramienta *Sensitivity Testing* que se basa en el Método de Monte Carlo, también conocido como Simulación de Sensibilidad Multivariable (*MVSS, Multivariate Sensitivity Simulation*). Método que realiza el procedimiento de manera automática permitiendo ejecutar un número elevado de simulaciones con los parámetros muestreados sobre un rango de valores y almacenar los resultados obtenidos para su posterior análisis, por lo general esto se realiza con una distribución uniforme aleatoria (***RANDOM_UNIFORM***) que es la recomendada para la mayoría de los análisis.

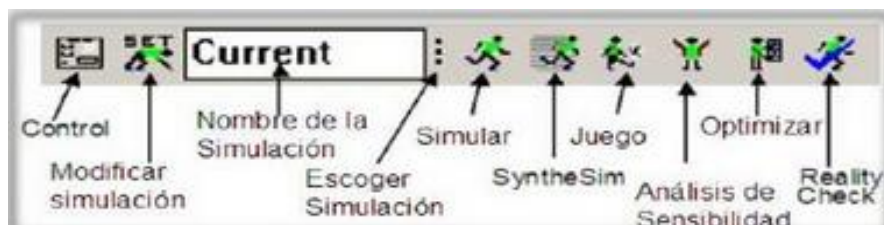


Ilustración 13: *Presentación Software Vensim®*. (Bonilla M., Cortes M. & Madrigal K., 2010)

3.1 Ejemplos de Aplicación de la Dinámica de Sistemas en las Organizaciones Empresariales.

3.1.1 Análisis de una empresa del sector maderero desde la dinámica de sistemas

La empresa de estudio se trata de una PYME de origen familiar, que se dedica a la fabricación de artículos en madera. El proceso de manufactura tiene un gran componente de operacional y a su vez manual lo que requiere de depósitos grandes, que implican activos fijos importantes para la empresa. En cuanto a la industria de la construcción en general se muestra un importante y continuo crecimiento durante los últimos años. (Gulino E., Dottori C., Willis E. & Vergara F., 2006)

Frente a la tendencia que se está presentando, Gulino E., et al. (2006), nos dicen que la empresa se ve en la necesidad de realizar un estudio sistemático tanto en la gestión del proceso y la inclusión de nuevos productos, como sobre las estrategias y políticas a adoptar ante distintos escenarios y las asociadas toma de decisiones, para lo cual realizan el siguiente estudio:

Se plantea así la posibilidad de disponer de un modelo dinámico que contemple los factores claves endógenos y exógenos que determinan el comportamiento de la empresa.

Entre los primeros: tipos de productos elaborados, stock en depósitos y mano de obra asignado al proceso.

Entre los segundos, el comportamiento de la demanda, irregularidad en el suministro de materia prima y parámetros de comando representativos de las principales decisiones a adoptar frente a cada escenario.

En base a lo anterior, se plantean los siguientes objetivos:

- mejorar el uso de recursos, como depósitos, maquinarias y procesos, previendo la posibilidad de incorporar nuevos productos
- ajustar la producción ante fluctuación de la demanda

Descripción del proceso

La actividad de la empresa abarca la producción de molduras de distintos largos, con medidas preestablecidas más comunes, pero no standard, que se ensamblan para hacer persianas (cortinas de enrollar), y su posterior colocación.

La medida de persiana de mayor demanda es la de 2 metros de ancho, que no coincide con la medida más disponible en materia prima suministrada por los proveedores. Por el contrario, por la característica propia de este rubro, dentro de una partida de madera coexisten distintos largos, de los cuales el de 2m. Suele constituir sólo un 10 % de lo entregado. Asimismo, dentro de cada partida de materia prima vienen incluidas otras medidas que ya pueden existir en stock, aunque no se pidan. Puede obtenerse material destinado a persianas de 2 m de las medidas de 4 m ó 4,2 m; incluso de las medidas de 3,0 a 3,6m, y el sobrante se destina a otras medidas de menor demanda. Las que no se pueden aplicar para ninguno de estos usos constituyen pérdida. Por otro lado, no resulta conveniente, por razones comerciales, rechazar pedidos de productos de medidas que presentan dificultad para hacerlas, lo cual potencia el problema. El caso mencionado es el ejemplo más importante para mostrar la situación, pero no el único posible.

Respecto de la materia prima, existe dependencia de muy pocos proveedores, ya que la especie más usada, el raulí, es producida por pocos establecimientos a precio accesible.

Existen proveedores de otras especies con similar prestación, por ejemplo en Canadá, pero con precios mayores, lo cual hace viable su uso sólo en algunos casos particulares.

Por esta escasez en la materia prima del producto más solicitado, la medida de 2m, este producto se lo considera como “crítico”. Hay que aclarar que con una demanda grande y puntual de cualquier medida única (lo cual sucede en forma esporádica) cualquier otro largo podría convertirse en crítico. Al mismo tiempo se fabrican otras medidas de cortinas que, además de ser menos solicitadas, siempre existe para ellas stock de madera disponible, por lo cual se las denomina producto “no crítico”. Otros nuevos productos que no entren en estas categorías los llamaremos “alternativos”.

La madera a procesar debe estar seca y estabilizada, para evitar el “doblado”, ya sea durante el proceso de manufactura o en el período de uso. La materia prima que se recibe casi siempre está verde, y el secado natural toma un tiempo de 2 a 3 años.

Para disminuir estos tiempos, se realiza el tratamiento de la madera en un secadero. La preparación de una carga completa para secar incluye:

- 1) Una selección para el descarte de piezas con nudos o imperfecciones. 2) Los tablones que resultan aptos se cortan en la sierra en listones de 50 x 15 mm de sección.
- 3) Acomodarlos en el secadero. Para evitar que se tuerzan se colocan separadores cada 30 cm. Al mismo tiempo, estos separadores proveen el espacio entre-tablas para la circulación del aire, y su alto define el caudal de aire que circula. 4) Para seguir la evolución del secado se colocan tablas testigo, cuyo contenido de humedad se determina mediante higrómetro electrónico y pesadas diarias.

Un ciclo de secado se compone de: 1º) pre-ciclo de calentamiento, 2º) secado propiamente dicho, 3º) estabilización, que consiste en el agregado de agua para uniformar el contenido de humedad de la madera. Todo el proceso de secado demora de 10 a 30 días. A las tablas ya secadas se les realiza un retoque, que consiste en rehacer un canto plano, si fuera necesario. La madera que se tuerce demasiado se pierde.

A continuación se trabaja en la machimbradora, donde se le da la forma definitiva a las varillas, por cepillado o moldurado de las cuatro caras.

Por otro lado, la madera que no necesita secado pasa directamente del corte en la sierra a la machimbradora. En principio se consideró que un 50% de la producción se realiza con madera que pasa por el secadero, y el resto con madera que no necesita ser secada.

Diagrama causal

Una vez estudiado el proceso, dada la gran cantidad de variables que intervienen en el mismo, se hicieron simplificaciones, a partir de las cuales se realizó un primer diagrama causal. En el estudio se incluye únicamente el subsistema proceso productivo, que abarca desde la recepción de materia prima hasta el producto terminado. Como producto terminado se consideran las varillas molduradas, que en un proceso posterior, que no se incluye en el modelo, se ensamblan, o no, según se utilicen para persianas u otros productos: pisos, revestimiento machimbre, etc.

El modelo de inventarios responde a un ciclo clásico de la cadena de inventarios, como el presentado en (Correa Espinal, 2004), pero presenta características propias del mercado y producto. La unidad de volumen se toma en m³ de madera para la materia prima.

Para los productos intermedios y terminados, se interpreta m³ de materia prima equivalente. Esto se refiere al volumen de MP inicialmente usado para llegar a ese producto. Con esta unidad, no se necesita considerar en el modelo la reducción de volumen ocasionada por mecanizado, despuntes, etc.

Con base en la descripción anterior y las restricciones consideradas, se desarrolló un posible diagrama causal, presentado en la fig.1. Se define la capacidad libre de almacenamiento como la diferencia entre la capacidad física de depósito, y lo efectivamente almacenado.

Este espacio libre abre la posibilidad de plantear el desarrollo de otro producto, distinto de las persianas, pero que se mantenga dentro de la línea de molduras, ya que es lo que permite hacer la maquinaria existente y el conocimiento del personal. Una opción posible es el machimbre para pisos. En este caso, este producto (u otro posible) será denominado “alternativo”.

El concepto de capacidad libre se aplica no sólo al depósito de producto terminado, sino también a los de materia prima y de producto intermedio. Asimismo, es aplicable a la capacidad de proceso, utilización de maquinarias y de mano de obra.

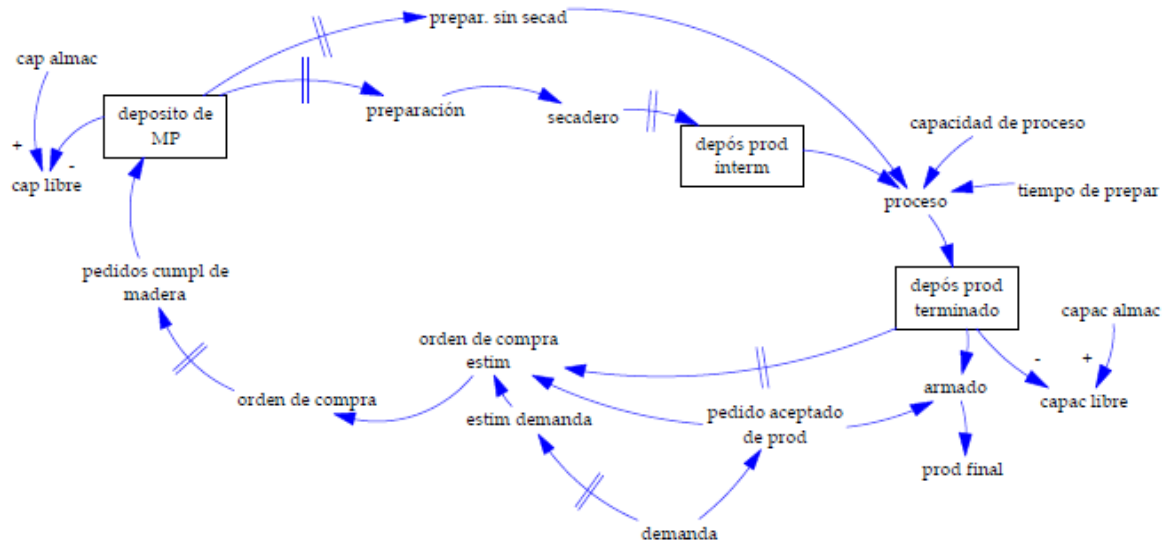


Ilustración 14: Diagrama. (Gulino E., et al., 2006, p.64).

Modelo de Stock y Flujo

Una de las primeras cuestiones a establecer fue la unidad de tiempo más conveniente para la observación del proceso. De acuerdo a lo que se detalla más adelante, éste es en realidad batch, ya que lo que se mueven son partidas. Sin embargo, si se mira durante un cierto período, puede asimilarse a un proceso continuo. En este caso, se tomó como unidad de tiempo el mes, y la unidad para los flujos es m³/mes de madera, ya sea en su estado de materia prima, de producto en proceso o de producto terminado.

El modelo se programó en Vensim PLE 5.0 (Ventana Systems Inc., 2002).

Definición de variables

° Variables de stock:

Claramente los acumuladores del proceso son:

- el depósito de materia prima
- el depósito de producto intermedio, para la madera que sale del secadero
- el depósito de producto terminado

Todos ellos son compartidos para los distintos productos, es decir los que se definieron como “**críticos**”, “**no críticos**” y “**alternativos**”.

Recordemos la característica de estos diversos tipos de productos planteados:

- **producto crítico: las medidas más solicitadas, del cual a su vez hay escasez de materia prima**
- **producto no crítico: otras medidas de menor demanda, y para las cuales siempre existe materia prima**
- **producto alternativo: el que pueda fabricarse con la maquinaria existente, cuando la capacidad de almacenamiento y la disponibilidad de personal lo permita**

En los primeros planteos del modelo, se había tomado el secadero como un acumulador. En un sentido esto es correcto, ya que funciona como un depósito, donde la madera permanece un promedio de un mes, hasta lograr el nivel óptimo de humedad. Sin embargo, en un análisis posterior se vio que desde el punto de vista del proceso, era más adecuado modelarlo como una demora. Todo el lote de madera que entra al secadero lo hace en conjunto, y sale de la misma manera o por lo menos la mayor parte. Este comportamiento se aproxima más al de una demora en el flujo de material que al de un acumulador, que se carga y descarga lentamente en el tiempo.

→ Entradas:

Las entradas exógenas o no manipulables del sistema son la demanda y el cumplimiento de los proveedores de MP. **Son manipulables los índices de previsión de compra y los coeficientes de producción.**

→ Parámetros:

Están dados por las capacidades y tiempos de producción (los índices de tiempo necesarios para realizar cada tarea). Estos valores son prácticamente fijos; variarlos implicaría un cambio importante en el proceso productivo, por ejemplo mediante un cambio de tecnología.

Etapas en el desarrollo del modelo

En un primer paso, se realizó el modelo de stock y flujo a partir de este modelo causal general, realizando ajustes al modelo durante la tarea (fig.2).

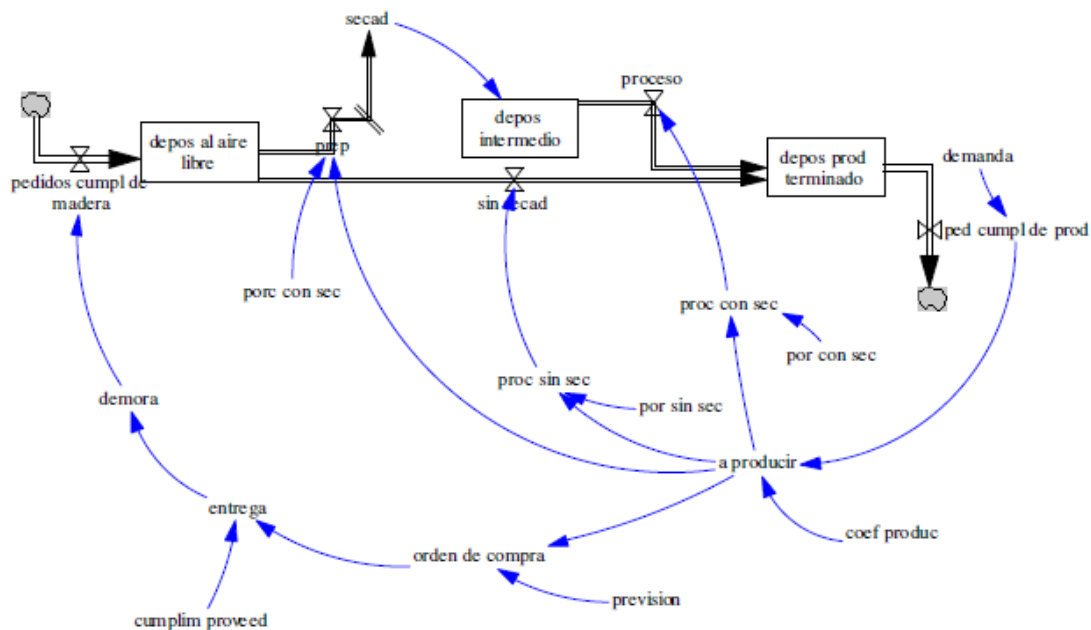


Ilustración 15: Diagrama etapas Diagrama. (Gulino E., et al., 2006, p.67)

Mediante simulación se verificó la consistencia de parámetros propuestos, comparando el comportamiento de los depósitos en el modelo respecto de la realidad histórica percibida por el empresario, y haciendo los ajustes que fueran necesarios.

Este primer modelo incluye todos los productos: tanto críticos como no críticos, y los posibles alternativos. Si bien físicamente no están separados, y la operatoria es la misma, al momento del procesamiento se tratan con distinta prioridad según sean críticos o no, ya que siempre hay más stock de MP y producto terminado no críticos que lo que sería deseable.

Ya que un objetivo es identificar capacidades libres para otros usos, es importante definir subsistemas que representen esas diferencias (representen estos productos alternativos). Por lo tanto, visto el comportamiento razonable del primer modelo, **se lo dividió en tres sub-sistemas** de igual formato, representativos de los productos “**crítico**”, “**no crítico**” y “**alternativo**”, diferenciados por los índices y parámetros específicos de cada caso. Como consideración especial para cualquier producto nuevo, se debe tener en cuenta que llegará un momento que al hacerse habitual pasará del subsistema alternativo al crítico y su complemento no crítico. Los productos nuevos siempre ocuparán un bajo porcentaje de la operación total; con demanda baja, puntual y aleatoria.

Ecuaciones que vinculan las variables

Se realiza en primer lugar la descripción para el producto denominado “crítico” (la descripción corresponde a la ilustración 16).

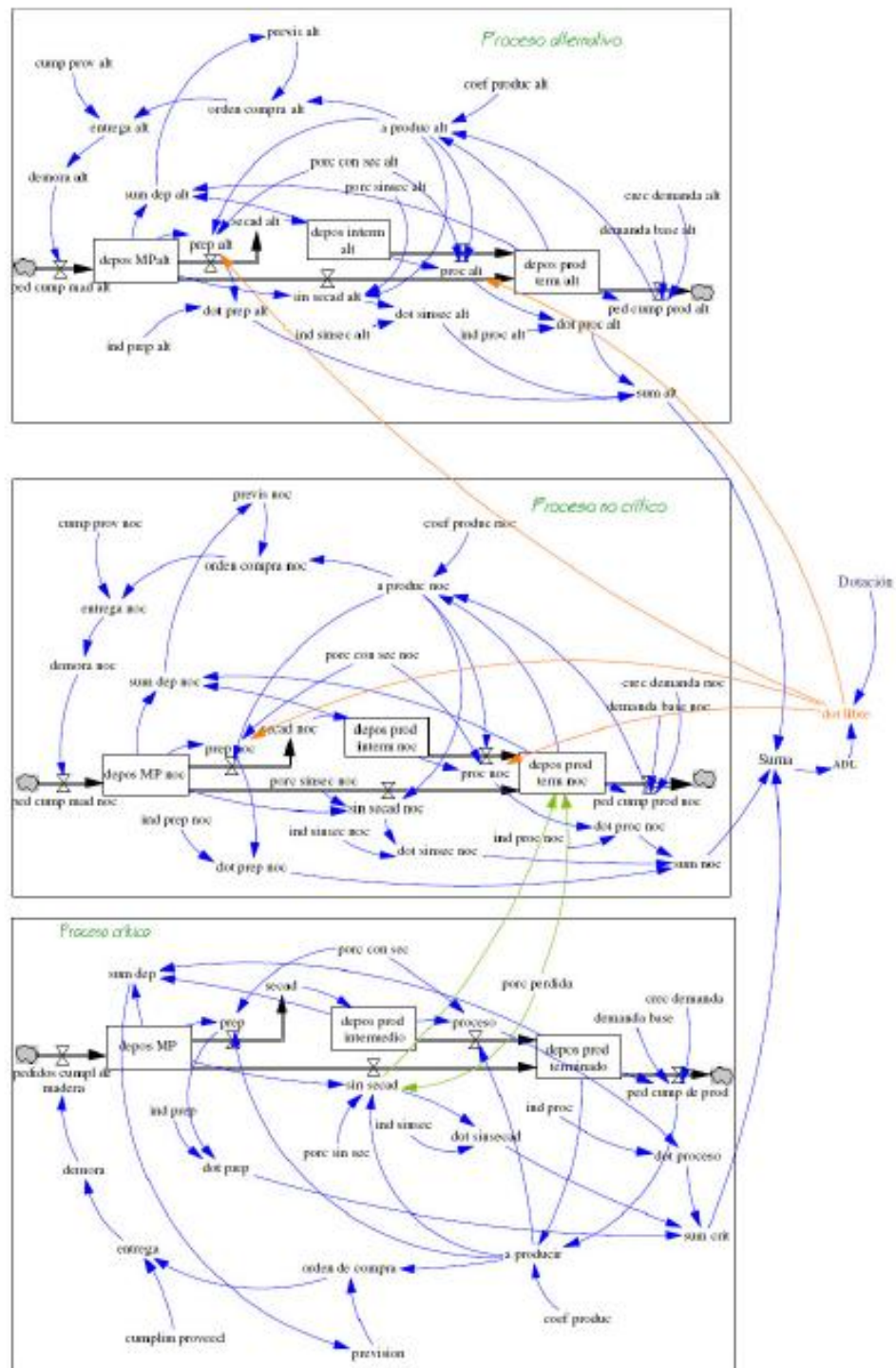


Ilustración 16: Descripción producto Crítico. (Gulino E., et al., 2006, p.69)

Se supuso que la demanda base oscila en forma aleatoria, entre un mínimo y un máximo de 2.5 y 5 m3/mes, por lo que se la define como:

$$\text{Demanda base} = 2.5 + \text{RANDOM UNIFORM}(0,1,0) * 2.5$$

Suponemos que la demanda será creciente, aumentando un 1% por período, es decir:

$$\text{Crec demanda} = 1 + \text{RAMP}(0.01, 0, 100)$$

Peña (2003) presenta un modelo general de un sistema de producción inventario, con tres casos, diferenciados por los índices que influyen en la determinación de la orden de producción. El modelo presentado aquí responde al primer caso, en el cual el trabajo en proceso (WIP) no afecta a la orden de producción, y ésta no presenta demora. La cantidad a producir resulta de afectar la demanda por un coeficiente, en función de la relación entre la cantidad existente de producto terminado menos lo pedido, respecto de los pedidos. Si esa relaciones mayor que 4 (lo que significa tener producto terminado para 4 meses de demanda), se producirá justo lo necesario, si es menor, se aumenta la producción en un 50%.

Este es un de los parámetros que puede modificarse en el modelo ya que forma parte de la toma de decisiones empresarias.

a producir= IF THEN ELSE(((deposprod terminado-pedcump deprod)/pedcump de prod)>=4,ped cump de prod,(coefproduc*pedcump de prod))

$$\text{coefproduc} = 1.5$$

El cumplimiento de los pedidos de materia prima tiene mucha irregularidad, tanto en cantidad como en tiempo. Para compensar en parte esta característica, el empresario pide una cantidad de materia prima mayor que la que realmente se necesita, y con bastante antelación. En el caso de las medidas críticas, el pedido de madera puede oscilar entre 1.5 y 2 veces la demanda esperada (llamaremos estos coeficientes i1 , i2) . Por ese motivo se

modeló el cumplimiento de proveedores como una función aleatoria, y se incluyó un término de previsión, basado en la existencia total en los tres depósitos. Si esa existencia está por encima de un nivel considerado crítico (distinto para los diferentes productos), el factor es (en principio) de 1.5, y cuando cae debajo de ese nivel, el factor de previsión es 2 (decisión empresarial).

La cantidad de madera que se prepara para el secadero estará determinada por la cantidad a producir, afectada por el porcentaje que se determine que es necesario secar. Además, para la cantidad que se manda a producir, ya sea a través del secadero o directamente, habrá que considerar que efectivamente exista MP en el depósito

Simulación y análisis de las respuestas del proceso

Para observar el comportamiento del sistema se plantearon diversos escenarios:

- a) variar los índices de previsión de compra y coeficientes de producción, que son las decisiones que puede manejar el empresario.
- b) cambios en la cantidad de personal
- c) suponer cambios aleatorios de la demanda.

Las condiciones iniciales para los depósitos, tanto de productos crítico, como no crítico y alternativo, son:

depos MP = 50 m³

deposprodinterm = 30 m³

deposprodterm = 20 m³

Se consideró una dotación de cinco personas

Luego De Realizar Dichos Cambios Se Llego A Estas Conclusiones:

El empresario ha transitado una etapa de aprendizaje en la disciplina de dinámica de sistemas y el uso de sus herramientas, como para manejarse con autonomía en futuros ajustes del modelo. También valora esta experiencia como una etapa importante de consolidación y sistematización de sus conocimientos tácitos, lo que mejorará su desempeño en actividades de gerenciamiento. Desde la perspectiva del empresario, el modelo se considera apto para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

La simulación muestra que la empresa posee capacidad para responder ante cambios aleatorios en demanda y suministro a costa de índices muy conservadores, que obligan a mantener altos stocks en los depósitos.

También permite ajustar estos índices (parámetros de comando), en relación con los niveles de cambios en la demanda, y en función de ellos determinar estrategias y políticas de gestión.

Se deberá continuar avanzando en el ajuste de la estructura y parámetros a medida que se cuente con información sistematizada de la evolución del stock de almacenes y de los resultados de las acciones de comando adoptadas.

La dotación de cinco personas resulta suficiente para incorporar productos alternativos. Por lo tanto, sería posible desarrollar nuevos productos, que puedan compensar una posible disminución de la demanda de productos crítico o no crítico.

El modelo puede adaptarse para estudiar el uso de las horas/máquina y horas/procesos, cambiando los índices de ocupación de mano de obra por índices representativos de ocupación de máquinas y procesos. En este caso, conocer las horas /máquina y horas/proceso libres y sus posibles combinaciones, permite determinar el tipo de nuevo producto que es posible fabricar.

(Gulino E., et al. 2006).

3.1.2 Aspectos Determinantes De La Seguridad Alimentaria Para Fincas Tipo en El Municipio De Alcalá. Un Análisis Desde La Dinámica De Sistemas

A continuación presentaremos un estudio de campo realizado desde el enfoque de la dinámica de sistemas en el municipio de Alcalá sobre seguridad alimentaria en fincas tradicionales del municipio, dicho estudio lo explican y resumen brevemente Céspedes J. D., Arboleda C. & Morales T. (2010) a continuación:

Se realizó un estudio sobre la seguridad alimentaria en fincas del municipio de Alcalá, haciendo uso de la construcción de un modelo de simulación para fincas tipo mediante la metodología de Dinámica de Sistemas. Para tal fin, se recopiló información sobre la situación alimentaria de tres fincas en Alcalá; posteriormente se identificó la estructura de las relaciones entre el sistema productivo, ingresos, bienes de autoconsumo y gastos del hogar. Este modelo permitió evaluar en términos generales la situación de la seguridad alimentaria en fincas tipo, al tiempo que sirvió de base para la definición de los elementos de mayor influencia en el sistema como medida para proponer alternativas que ayuden al fortalecimiento de la seguridad alimentaria para fincas tipo en el municipio de Alcalá.

Introducción

La seguridad alimentaria es un fenómeno complejo determinado por factores exógenos tales como las estructuras ecológicas, macroeconómicas y socioculturales del país, región o comunidad; y por endógenos que comprenden el tipo de hogar, género del jefe de hogar, tamaño y composición del grupo familiar, educación de los miembros de la familia en especial el jefe de hogar y el ama de casa, nivel y estabilidad del ingreso familiar, y nivel de pobreza. Estos factores se integran para definir las posibilidades de satisfacer las necesidades alimentarias en términos de acceso a los alimentos y calidad nutricional. Por tal razón, al considerar la seguridad alimentaria a nivel de hogar (unidad de estudio), adquiere gran importancia la identificación de las características particulares presentes en él, las cuales son influidas por el contexto biofísico, cultural y socioeconómico en que se encuentran e incluso por el carácter rural o urbano que éstas posean. De hecho, al interior

del mismo contexto pueden existir particularidades relacionadas con la seguridad alimentaria completamente disímiles entre los distintos hogares que lo compongan, principalmente en zonas rurales. Un claro ejemplo de esta situación lo presentan (Carvajal et al. citado por Céspedes J. D., Arboleda C., Morales T., 2010) al afirmar “*Los sistemas productivos campesinos (...), demostraron que en el sector rural existen diferentes formas de administrar los recursos disponibles, los cuales se utilizan de acuerdo con las necesidades y a las capacidades particulares de los propietarios y familiares*”. Sin embargo, con el propósito de profundizar en el conocimiento de la seguridad alimentaria a nivel hogar, diferentes autores han identificado elementos que la definen en tres grupos o dimensiones: *Acceso Seguro a los alimentos* (posibilidades en términos de recursos o capacidad productiva para acceder al alimento), *Suficiencia Alimentaria* (propiedades nutricionales de los alimentos consumidos en relación a los requerimientos nutricionales del individuo), y *Seguridad* (capacidad de respuesta de los hogares frente a situaciones adversas en el acceso a los alimentos). Estas consideraciones dan la posibilidad de abordar la seguridad alimentaria en los hogares rurales desde un enfoque sistémico, que ayude en la comprensión de las relaciones que se presentan entre los diferentes elementos que la definen, y contribuya a la identificación de los aspectos críticos sobre los cuales deben formularse proyectos en este campo. Con esta investigación se pretende abordar el tema de seguridad alimentaria en hogares rurales del municipio de Alcalá, desde la construcción de un modelo de simulación con la metodología Dinámica de Sistemas, que facilita abordar la complejidad de la realidad que se está estudiando de manera no lineal, y aporta un panorama general de las relaciones y realimentaciones que tiene lugar dentro del sistema. El modelo construido de esta manera se utilizó como herramienta para el análisis de diferentes alternativas de producción y autoconsumo como base para el estudio del comportamiento de elementos que definen la seguridad alimentaria en algunas fincas en el municipio de Alcalá, Valle del Cauca.

Este estudio es de gran relevancia dado que “*la perdida de las prácticas tradicionales alimenticias para la cría, y la producción con base en alimentos concentrados hicieron que los mercados del pequeño productor creara una competencia difícil de sostener con los productores de grandes explotaciones*”, llevándolo a condiciones de inseguridad

alimentaria, donde se espera contribuir con el análisis del sistema y las estrategias potenciales para la autosuficiencia alimentaria.

Metodología

Área de estudio

La investigación fue desarrollada en el municipio de Alcalá el cual se sitúa al norte del departamento Valle del Cauca (Colombia). Alcalá es parte de la cuenca del Río La Vieja, con un rango de temperatura que va desde los 18 hasta los 25°C y una precipitación media de 1300 mm anuales, comprende zonas montañosas de la Cordillera Central que oscilan entre los 860 y 1650 m.s.n.m. [7].

Hogares Rurales Estudiados

Para el desarrollo de la investigación se realizó la selección de tres fincas localizadas en diferentes veredas del municipio de Alcalá, en las cuales se recolectó información sobre los diferentes aspectos identificados para la construcción del modelo.

Las fincas El Topacio, El Recreo, y La Samaria, las cuales hacen parte del proyecto *Gestión de Propuestas Agroalimentarias en Algunas Fincas de la Cuenca Río La Vieja, Colombia* desarrollado por los grupos de Investigación de *Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos*, GATA y *Gestión Ambiental Territorial*, GAT, pertenecientes a la *Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia)*, fueron seleccionadas con base a las similitudes existentes en cuanto sus hábitos de consumo, preferencias sobre ciertos tipo de alimentos por parte de las familias, productos relevantes, y características socioeconómicas. A partir de esta información se definió una finca tipo en función de integrantes, áreas de la finca (total y cultivos principales), especies de cría e ingresos familiares.

Construcción del Modelo de Simulación para Fincas Tipo del municipio de Alcalá

Se realizó la revisión de diferentes grupos de indicadores propuestos por diferentes autores para el abordaje de las dimensiones que constituyen la seguridad alimentaria. Se definieron dos indicadores de estado para la evaluación del acceso seguro y la suficiencia alimentaria: *Ingreso del Hogar con Relación a la Canasta Básica* y *Nivel de suficiencia Energética y Proteica*.

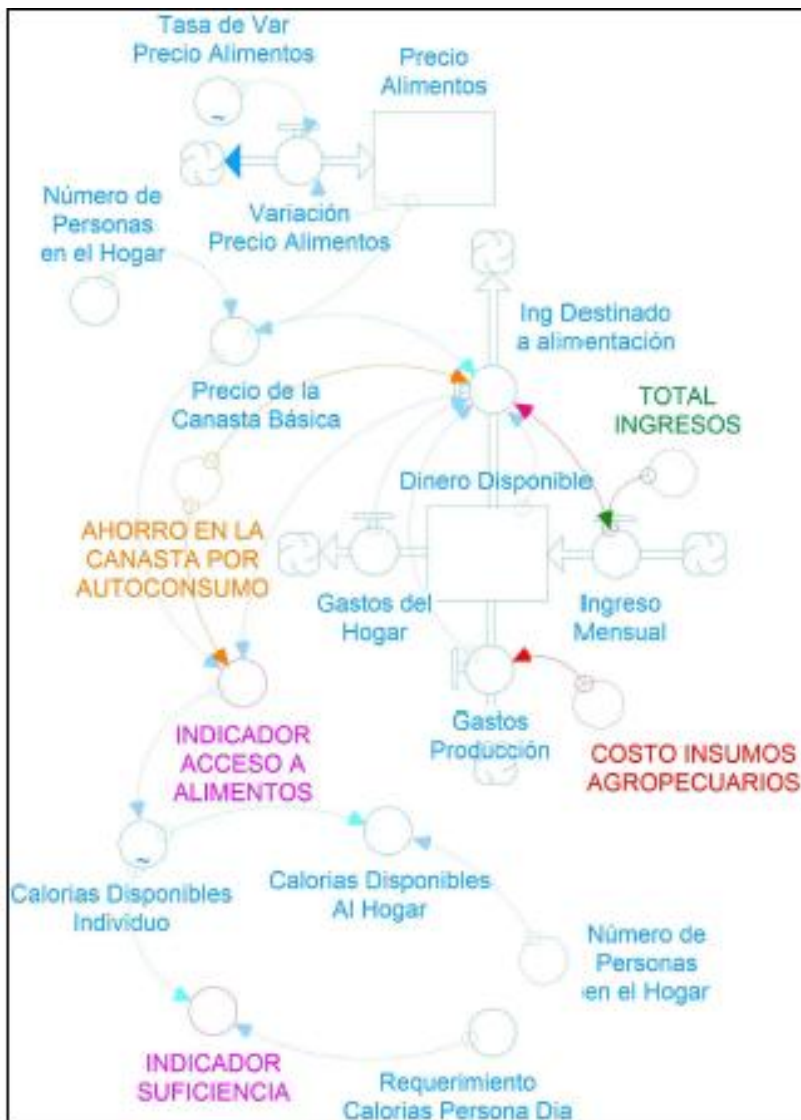


Ilustración 17. Diagrama de Forrester para el Componente Indicadores de Seguridad Alimentaria. (Céspedes J. D., Arboleda C. & Morales T., 2010)

Con base en estos indicadores, se identificaron los aspectos de mayor relevancia para la definición de los subsistemas y variables que hacen parte del modelo propuesto. En este sentido, se abordó el modelo con base en la definición de cuatro componentes: *ingresos del hogar*, los cuales derivan principalmente de los productos cultivados; *productos que se utilizan para el autoconsumo*; *gastos para sostenimiento* de la producción agropecuaria del predio; e *indicadores propuestos*. Encargado de sintetizar la información de los demás subsistemas.

Evaluación e Identificación de Aspectos Determinantes en la Seguridad Alimentaria

El funcionamiento del modelo fue evaluado mediante la reproducción del comportamiento de las variables más sensibles, a partir de la información existente en la base de datos del proyecto *Gestión de Propuestas Agroalimentarias en Algunas Fincas de la Cuenca Río La Vieja, Colombia*, permitiendo observar el comportamiento del sistema para un periodo de tres (3) años.

Se identificaron los elementos que ejercen mayor influencia sobre el sistema y aquellos que requieren ser atendidos para evitar el deterioro de las condiciones de seguridad alimentaria en los hogares rurales de Alcalá.

Posteriormente, se elaboraron alternativas con base en el análisis de los aspectos identificados como de mayor relevancia para las fincas tipo estudiadas. Dichas alternativas fueron incorporadas al modelo, lo que permitió observar las posibles reacciones que podrían manifestarse en el sistema y las consecuentes variaciones que esto tendría sobre los indicadores seleccionados.

Resultados

Finca Tipo Caracterizada

La finca tipo caracterizada mediante visitas de campo y revisión bibliográfica se compone de un hogar con tres integrantes, entre los cuales figura el propietario del predio. Los ingresos son provenientes de dinero enviado por familiares que no hacen

parte del hogar; y en algunos casos por venta de otros productos agrícolas no representativos de su producción.

Los egresos de mayor importancia en esta finca tipo son los representados por la compra de insumos para el sostenimiento del cultivo de café, pago de jornales para la recolección y limpieza de este cultivo; y mensualmente se presentan egresos relacionados con compra de productos alimenticios y no alimenticios (limpieza y aseo personal), servicios públicos, transporte y salud.

Aproximación a la Evaluación de la Seguridad Alimentaria en Fincas Tipo.

Como resultado de la simulación realizada se encontró una fuerte tendencia a situaciones de inseguridad alimentaria durante una fracción importante del tiempo. Estas situaciones de inseguridad alimentaria se caracterizan por una marcada incapacidad para acceder a los productos que conforman la canasta básica de alimentos lo que significa también que existen dificultades para acceder a la cantidad de calorías mínimas necesarias y están relacionadas con la alta dependencia económica a la producción del café y las condiciones propias del mercado de este producto.

Al centrar el ingreso en el cultivo de un solo producto (café), la disponibilidad de dinero para compra de alimentos (y de gastos en general) obedece a su dinámica de cosecha, lo que dificulta la subsistencia del hogar durante los periodos entre cosechas. Este comportamiento en los gastos del hogar y de producción, frente al ingreso y al precio de la canasta básica de alimentos, pone en evidencia la predominancia de situaciones de déficit y riesgo en la seguridad alimentaria de la finca tipo.

Identificación de los Aspectos Relevantes para la Planificación de Acciones de Seguridad Alimentaria en Fincas Tipo.

La relación *Ingreso del Hogar con Canasta Básica* muestra como resultado que el cultivo de café como fuente principal de ingreso en áreas menores o iguales a cuatro hectáreas, no representa una opción que permita la existencia y permanencia del acceso adecuado a

los alimentos en el hogar. Igualmente se observó que conforme se aumenta el área cultivada de café, se acentúa la tendencia a la prolongación de la condición de seguridad alimentaria, especialmente durante el periodo comprendido noviembre y marzo. Esta tendencia se manifiesta especialmente por encima de las seis hectáreas cultivadas, llegando a observarse durante este periodo una condición casi permanente de seguridad alimentaria cuando se destina un área sembrada igual a ocho hectáreas.

Es de resaltar que a pesar de haber duplicado el área sembrada en café, el indicador sigue reflejando una fuerte tendencia a condiciones de inseguridad alimentaria durante los periodos entre las cosechas. Igualmente, una dependencia casi total al ingreso obtenido mediante la venta de café coloca el hogar en una posición vulnerable frente a las variaciones en el precio del mismo.

Al incorporar otro cultivo (plátano) se logró observar que el aumento del número de plantas de plátano (15 a 45) amortigua las situaciones de inseguridad alimentaria en los periodos previos a la cosecha de café, esto es, en el primer, séptimo y octavo mes del año. Sin embargo, este número de plantas no es suficiente para evitar la caída en la capacidad de acceso a los alimentos del hogar durante los meses 6 y 12 de cada año, en los cuales el indicador toma un valor según el cual solo existe dinero y recursos disponibles para acceder a cerca del 4% de la canasta básica de alimentos.

Adicional a la importancia que poseen estos dos factores (la producción de café y plátano), el aumento en el ingreso mensual se constituye como una de las necesidades del hogar en la búsqueda de mejores condiciones alimentarias y económicas, ya que durante los periodos entre cosechas el hogar solo cuenta con los ingresos que aportan familiares ajenos al hogar y los generados por la venta de plátano y otros productos agrícolas de menor relevancia.

El aumento en el ingreso mensual en cerca de \$50.000 adicionales (sin incluir el ingreso por venta de café, ni el dinero percibido como remesas o ayudas de familiares) favorece la existencia y permanencia de situaciones de seguridad alimentaria al interior de la finca tipo estudiada debido a que este ingreso fortalece la capacidad de acceso del hogar durante los periodos de bajo ingreso.

Este hecho resalta la importancia y necesidad urgente de buscar mecanismos para la generación de ingresos que otorguen al hogar una mayor capacidad para pagar sus obligaciones económicas y acceder a los alimentos suficientes.

Igualmente, con el fin de evaluar los impactos que podría generar sobre la finca el fortalecimiento de la práctica del autoconsumo (utilizada comúnmente en diferentes proyectos de seguridad alimentaria), se incorporó en el modelo una huerta de 35m² (para ser manejada por una sola persona) con seis productos que de acuerdo a información recolectada los agricultores de Alcalá han cultivado y que por las características biofísicas del municipio, pueden ser producidos:

Producto	Área a sembrar
Yuca	9 m ²
Habichuela	6 m ²
Frijol	3,5 m ²
Tomate	5 m ²
Zanahoria	1,5 m ²
Maíz	10 m ²

Ilustración 18: Productos y áreas destinadas a un huerto. (Céspedes J. D., Arboleda C. & Morales T., 2010)

Se encontró que el huerto por sí solo no posee la capacidad de garantizar la seguridad alimentaria al interior del hogar, de hecho, aunque existe una tendencia a que las situaciones de inseguridad alimentaria se presenten con menor frecuencia y severidad, la incorporación del huerto no las impide totalmente. De hecho, la incorporación del huerto sumada a los otros productos de autoconsumo que posee la finca tiene la capacidad de suplir únicamente cerca del 20% de los alimentos (en cantidad y calidad) de la canasta básica que requiere el hogar.

Con los escenarios simulados, se disminuye la severidad de los problemas observados, pero no permite suplir en su totalidad las necesidades alimentarias del hogar. Esto se debe a la gran complejidad que poseen los sistemas campesinos y al hecho de que la seguridad

alimentaria es un fenómeno multidimensional, y por tanto, las soluciones a la problemática de la inseguridad alimentaria deben ser abordadas tomando en cuenta las diferentes dimensiones de la seguridad alimentaria y las características propias de cada contexto en particular.

Empleando un enfoque distinto, se realizó un abordaje multidimensional de las condiciones de inseguridad alimentaria en la finca tipo estudiada. Así, se integraron los diferentes aspectos aquí descritos y se analizó el impacto que podrían generar sobre las condiciones de seguridad alimentaria en hogares rurales. Como resultado de este ejercicio se definieron cinco acciones puntuales:

En primer lugar, es importante considerar el aspecto relacionado a la producción de café. Este, impulsa la capacidad de acceso a los alimentos del hogar. Además, cultivo reviste gran importancia, tanto por el factor tradicional de los agricultores como por el papel que desempeña en la economía de las fincas campesinas. Desafortunadamente, la dependencia económica de este producto puede ocasionar situaciones de inseguridad alimentaria al interior de los hogares. Por estas razones, como punto de partida para la propuesta de integración se ha decidió no incluir variaciones el área cultivada en café, esto es, mantener el cultivo de café en cerca de 4,7 ha.

En segundo lugar se consideró ampliar el número de plantas de plátano sembradas en la finca, hasta llevarlas a 35 plantas. El plátano no se constituye como un producto que brinde un ingreso elevado a la finca, pero el ingreso que genera mensualmente ayuda a atender los problemas estructurales de acceso que derivan de la duración de los periodos entre cosechas de café.

Igualmente y como se mencionó al inicio la incorporación de la huerta y de productos de autoconsumo como el plátano, banano, y pollo permite también brindar mayor autonomía al hogar rural, al tiempo que disminuye la gravedad de las situaciones desfavorables en el tema de seguridad alimentaria cuanto éstas se presentan.

Otro aspecto de gran importancia para el abordaje multidimensional de la seguridad alimentaria lo constituye la generación de dinero adicional para cubrir los gastos del hogar y mantener los sistemas productivos agropecuarios en funcionamiento. De acuerdo

a la investigación se encontró que los hogares estudiados cuentan con el apoyo de familiares ajenos al hogar en una cantidad cercana a los \$200.000. Dentro de las variaciones propuestas se identificó la necesidad de que este valor pueda ser aumentado mensualmente en cerca de \$50.000.

De igual manera, y con el fin de prevenir los descensos en la capacidad del hogar de satisfacer sus necesidades en el periodo entre las cosechas de marzo-abril y octubre-noviembre se hace necesario generar anualmente un ingreso de aproximadamente \$150.000 adicionales durante al menos uno de los meses que se encuentran en este periodo. Este dinero fortalecerá la capacidad del hogar para adquirir los alimentos básicos para satisfacer las necesidades nutricionales del hogar. Surge entonces la necesidad de identificar un cultivo o actividad productiva que permita generar este valor, el cual es indispensable para suplir la escasez de ingreso durante la mitad de cada año.

Conclusiones

La seguridad alimentaria representa un fenómeno multidimensional complejo, tal y como pudo comprobarse por medio de los análisis desarrollados con la ayuda del modelo; por esta razón, al momento de evaluar o planificar acciones tendientes al fortalecimiento de la misma, deben considerarse tanto las dimensiones que la componen, como las características particulares del contexto en que se desarrolla.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el modelo, la finca tipo abordada en este estudio presenta condiciones de inseguridad alimentaria en lo que se refiere a la capacidad del hogar de acceder a los alimentos básicos necesarios. Esta situación podría generar en un hogar rural la búsqueda de estrategias de ajuste que consistirían en sacrificar la inversión en salud o educación para suplir la necesidad de alimentos.

Bajo la hipótesis de la dependencia del café se ha podido observar que para la finca tipo se presentan situaciones que limitan las condiciones del hogar para garantizar la permanencia de las condiciones de seguridad alimentaria.

Estas situaciones limitantes de inseguridad alimentaria se presentan con una frecuencia de cerca de dos veces al año en los periodos entre las cosechas del café.

Con base en las simulaciones realizadas por medio del modelo se pudo demostrar que el dinero aportado por familiares ajenos al hogar, representa para las fincas estudiadas una fracción importante del ingreso mensual. Adicionalmente, este dinero es el que posibilita en gran medida la subsistencia de la familia en los periodos entre cosechas del café.

A la luz de los resultados arrojados por el modelo, el incremento de los ingresos, la puesta en marcha del huerto habitacional, y la ampliación de los cultivos son en forma aislada medidas incapaces de fortalecer la seguridad alimentaria en la finca tipo estudiada. Por medio del análisis realizado se pudo demostrar que las propuestas que se diseñen deben integrar estos diferentes mecanismos de forma que los hogares campesinos obtengan acceso suficiente y permanente a alimentos de calidad.

El modelo desarrollado en el presente estudio posee la capacidad de representar de manera general las condiciones de una finca tipo del municipio de Alcalá, siendo susceptible de ser mejorado y aplicado en otros contextos.

(Céspedes J. D., Arboleda C. & Morales T., 2010)

3.1.3 Dinámica de sistemas aplicado en el análisis de cadenas productivas agroindustriales en el departamento de Bolívar

En el siguiente ejemplo, mediante la aplicación de la Dinamica de Sistemas y uno de sus software más conocido (iThink) se realiza un modelo mediante el cual se pueden plantear diferentes escenarios para lograr determinar los factores más importantes en el proceso y los que restan productividad al mismo, el cual nos explican brevemente Amézquita, J. & Chamorro, K. (2013) en lo siguiente:

En este artículo se presenta un modelo de redes que permite simular el comportamiento de las principales cadenas productivas agroindustriales pertenecientes al Departamento de Bolívar. El modelo fue construido integrando en una sola red los componentes de costo, producción y utilidad de los actores de las diferentes cadenas; se elaboró el modelo de

redes con la ayuda del software *I Think*. Al definir las principales variables que caracterizan el modelo se plantearon diferentes escenarios para determinar la sensibilidad de las mismas y cómo estos cambios afectan la productividad, el empleo y la utilidad de los actores.

Producción agrícola en Bolívar

La producción agrícola en Bolívar es diversificada entre productos tradicionales, anuales y permanentes; para 2010, fue el departamento líder a nivel nacional en la producción de diversos productos agrícolas, tales como: ñame, maíz tradicional, ajonjolí y níspero; y uno de los cinco departamentos mayores productores de yuca, aguacate, mango, ají dulce, tabaco, ají tabasco, arroz, berenjena, ciruela y melón.

La Figura 1 presenta la estructura productiva Bolívar 2000–2010; al analizar las cifras de producción para los últimos 11 años, se evidencia que alrededor de 32 productos conforman la producción agrícola en Bolívar; siendo líderes los cultivos de yuca, ñame, maíz tradicional, plátano, aguacate, maíz mecanizado y mango, los cuales presentan crecimientos en su producción de entre 3% y 116% en 2010, siendo la yuca el principal cultivo (con crecimiento de 116%), seguido por el ñame (con 88%).

Teniendo en cuenta la participación porcentual de cada cultivo en la producción agrícola para 2010, los cultivos de yuca, ñame, maíz tradicional y plátano concentran el 61% de la producción agrícola del departamento. La producción de estos cultivos suma en total 574.312 toneladas de las 944.435 toneladas totales producidas para ese año; por lo tanto, para ese año se consideran los más representativos en relación con la producción.

Descripción del problema

En Bolívar, las cadenas productivas agrícolas vinculadas al procesamiento de alimentos, bebidas, productos de la industria química, entre otros, no se encuentran totalmente especificadas ya que, hasta ahora, gran parte de los análisis realizados separan la producción agrícola de la industrial; por tanto, no se tiene un conocimiento específico del

uso dado a este tipo de materia prima en los procesos industriales locales, nacionales e internacionales [...]

Teniendo en cuenta que Bolívar genera productos provenientes de las cadenas productivas agroindustriales que son distribuidos a diferentes lugares y mercados cada vez más competitivos, caracterizados por la presencia de actores eficientes y dispuestos a disminuir sus costos sin sacrificar la calidad de sus productos y abastecer al consumidor final la cantidad que corresponde con sus necesidades, es necesario utilizar los modelos de redes y herramientas de simulación, para tener una idea global del comportamiento de variables que son determinantes en el desarrollo económico y productivo, con la finalidad de garantizar la sostenibilidad del departamento.

Al trabajar con modelos de redes y simulación se podrá establecer escenarios que, como un trabajo prospectivo serio, permitirán potencializar las alternativas de desarrollo de cada cadena; además es el espacio virtual donde se podrán conducir experimentos a través de la adición de variables para construir escenarios de desarrollo o la modificación de sus valores para recrear potenciales estados que serán evaluados a partir de las variables de salida (Mancilla, 1999 citado por Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013), permitiendo observar qué afecta la productividad y diseñar estrategias de cara al escenario competitivo actual.

Por lo tanto, se elaboró un modelo de red que integra las principales cadenas productivas agrícolas con sus respectivas variables y se plantearon escenarios de simulación para determinar la sensibilidad de ciertas variables; para esto se utilizó el software de simulación I Think.

Metodología

I think se utilizó para modelar las cadenas productivas agroindustriales. Primero se recopiló información relevante y datos estadísticos históricos para el periodo 2000– 2010, relacionados con la producción agrícola, hectáreas sembradas y cosechadas, productividad, mano de obra, entre otros, provenientes de: las *Evaluaciones Agropecuarias* de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Bolívar; el Sistema de Información Agrícola [AGRONET], del Ministerio de Agricultura

y Desarrollo Rural: y la *Encuesta Nacional Agropecuaria* [ENA] del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). A partir de esta información se caracterizaron las principales cadenas productivas agroindustriales, se identificaron los actores, las relaciones comerciales y los productos agroindustriales provenientes de las principales cadenas agrícolas.

Luego se definieron las variables de entrada, salida y de proceso para construir el modelo de redes y simular el comportamiento de las cadenas productivas; además se plantearon escenarios de sensibilidad para analizar el comportamiento e impacto de ciertas variables en la productividad, valor agregado y generación de empleo de las cadenas productivas. Finalmente, en la etapa de simulación de escenarios, se modificaron diferentes variables y se determinó cuál fue la influencia de dichos cambios en el comportamiento del sistema

Descripción del modelo

Teniendo en cuenta que los modelos de redes son una representación simplificada de algunos aspectos de la realidad, en este capítulo se presenta el modelo de red diseñado con las principales cadenas productivas (yuca, ñame, plátano, aguacate y mango) mediante el software I Think, para comprender el comportamiento de algunas variables frente a ciertos escenarios. Se elaboró la red de simulación para los componentes de producción y costos.

El modelo tiene como objeto proporcionar una herramienta que permita conocer el comportamiento de las cadenas productivas de yuca, ñame, plátano, aguacate y mango de forma integrada.

Resultados

Una vez construido el modelo se procedió a realizar un análisis de sensibilidad para lo cual se realizaron ciertas variaciones de la situación actual de las cadenas: aumentos o disminuciones en una o más variables mientras que las demás se mantienen constantes. A continuación se presentan los resultados basados en dos escenarios propuestos.

Aumento y disminución de las hectáreas cosechadas

Para 2010, como se muestra en la Tabla 1, la distribución de las hectáreas destinadas para los cultivos de yuca, ñame, plátano, aguacate y mango, corresponden a 57.648 hectáreas, lo que equivale al 32% de las hectáreas cosechadas en el departamento de Bolívar.

En este escenario se plantean aumentos y disminuciones del 10% en los porcentajes de participación de las hectáreas cosechadas para los cultivos de yuca y ñame; manteniéndose constante las demás variables y determinando el efecto sobre la utilidad de los diferentes actores y el empleo.

La Tabla 2 muestra los porcentajes en que varían las utilidades de los actores, la producción y la generación de empleo de las cadenas de yuca y ñame; cuando cambian

Cultivos	Hectáreas	Participación (%)
Yuca	32.859	57
Ñame	16.718	29
Plátano	4.035	7
Aguacate	3.459	6
Mango	576	1
Total	57.648	100

Ilustración 19 Distribución Has por cultivos. (Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013)

los porcentajes de participación de las hectáreas cosechadas. Todos los actores sufren variaciones similares, ya sean ganancias y/o pérdidas; es decir, si las variaciones son negativas, se disminuyen sus utilidades, así mismo, si las variaciones son positivas se refleja un aumento en sus ganancias. Los porcentajes corresponden a yuca +/- 18% y ñame +/- 34%, para cada una de las variables.

Variación	Yuca				
	%	Has	Ton	Utilidad Actores	Empleo
-	47	27.045	224.343	18%	18%
Inicial	57	32.859	272.076	17.958*	11.041
+	67	38.624	319.808	18%	18%

Variación	Ñame				
	%	Has	Ton	Utilidad Actores	Empleo
-	19	10.953	102.390	34%	34%
Inicial	29	16.718	156.279	31.197*	9.295
+	39	22.483	210.168	34%	34%

Ilustración 20 Variación de las hectáreas cosechadas yuca y ñame. (Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013)

Aumento y disminución de los rendimientos por hectárea

Para este escenario se consideran algunas variaciones en los rendimientos de los diferentes cultivos, bajo el supuesto de que se utilicen semillas mejoradas y técnicas y tecnología para la siembra y cosecha con el objetivo de alcanzar los rendimientos de acuerdo con sus capacidades. La Tabla 3 muestra cada uno de los rendimientos registrados para 2010, los cuales están por debajo de la capacidad de producción de cada cultivo; por lo tanto, se planteo este escenario en el que cada cultivo alcance su capacidad máxima y se determinaron los cambios en las demás variables del modelo.

Variables	%	Hectáreas	Capacidad Ton/Ha	Capacidad Final	Rendimientos Ton/Ha
Has Yuca	0.57	32.859	12	394.312	9
Has Ñame	0.29	16.718	12	200.615	11.4
Has Plátano	0.07	4.035	14	564.95	7.9
Has Aguacate	0.06	3.459	16	553.42	10
Has Mango	0.01	5.76	17	9.800	13.5
Total		57.648			

Ilustración 21 Capacidad y rendimientos por cultivos. (Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013)

A continuación, en la Tabla 4 se muestra como varían los porcentajes de las utilidades de los actores de las cadenas de yuca, ñame, plátano, aguacate y mango cuando cambian los rendimientos. Todos los actores sufren variaciones similares en sus ganancias y en la producción; sin embargo el productor es el más sensible ante las variaciones, es decir, al aumentar los rendimientos por hectáreas él obtiene el mayor porcentaje de aumento en sus ganancias. Para el caso de la yuca las variaciones corresponden a 33% para cada una de las variables, exceptuando la utilidad del productor; lo mismo sucede con los demás cultivos, siendo las variaciones para el cultivo de ñame del 5%, plátano 77%, aguacate 60% y mango 20%. En cuanto a las utilidades del productor para cada una de las cadenas presentan los mayores niveles de variación, siendo en el caso de la yuca de 157%, ñame 12%, plátano 207%, aguacate 100% y mango 47%.

	Variables	Yuca	Ñame	Plátano	Aguacate	Mango
Inicial	Producción (Toneladas)	272.076	156.279	19.128	25.942	3.891
	Utilidad Productor (\$)	17.958	41.239	4.999	12.823	967
	Utilidad Acopiador (\$)	29.384	7.077	52	25.842	607
	Utilidad Mayorista (\$)	31.197	8.266	295	22.045	151
	Utilidad Agroindustrial (\$)	10.471	6.502	323	10.661	1.78.
Variaciones	Producción (Toneladas)	362.767	164.504	33.897	41.506	4.900
	Utilidad Productor (\$)	46.073	46.338	15.337	25.664	1.421
	Utilidad Acopiador (\$)	39.178	7.450	92	41.347	765
	Utilidad Mayorista (\$)	41.596	8.701	523	35.273	191
	Utilidad Agroindustrial (\$)	13.961	6.844	573	17.058	1.735
Variaciones Porcentuales	Producción (%)	33	5	77	60	26
	Utilidad Productor (%)	157	12	207	100	47
	Utilidad Acopiador (%)	33	5	77	60	26
	Utilidad Mayorista (%)	33	5	77	60	26
	Utilidad Agroindustrial (%)	33	5	77	60	26

Ilustración 22 Variaciones de las utilidades (\$ en millones). (Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013)

Conclusiones y trabajo futuro

En Bolívar existen factores comunes en las principales cadenas que le restan productividad, entre los cuales que se destacan: el bajo nivel tecnológico, los altos costos del transporte debido al mal estado de las vías rurales, los bajos rendimientos por hectárea (para el caso de algunos cultivos, debido al uso de semillas con enfermedades o problemas fitosanitarios), la poca asistencia para el manejo integral de los cultivos, el poco manejo agronómico y los grandes porcentajes de pérdida de la cosecha.

En las cadenas productivas agroindustriales se identificaron diferentes actores que coinciden para todas las cadenas, entre los cuales se encuentran: productores, acopiadores, mayoristas, minoristas, industriales, exportadores, consumidor final y entidades de apoyo públicas y privadas.

Se construyó un modelo en Dinámica de Sistemas que permitió conocer el comportamiento de las cadenas productivas agroindustriales en Bolívar.

En relación con la metodología de dinámica de sistemas y simulación, se puede concluir que es una herramienta útil que permite, inicialmente, una visión integrada de los sistemas y una mejor comprensión de su comportamiento; a su vez, permite percibir la situación actual y determinar qué cambios pueden generar impactos positivos o negativos al sistema o a ciertas variables.

En cuanto a la simulación, al presentarse aumentos y disminuciones del 10% en los porcentajes de participación de las hectáreas cosechadas para ciertos cultivos, se presenta que todos los actores sufren variaciones similares, ya sean ganancias y/o pérdidas.

Al considerarse algunas variaciones en los rendimientos de los diferentes cultivos con el objetivo de alcanzar los rendimientos de acuerdo con sus capacidades, todos los actores sufren variaciones similares en sus ganancias y en la producción; sin embargo, el productor es el más sensible ante las variaciones, es decir, al aumentar los rendimientos por hectárea él obtiene el mayor porcentaje de aumento en sus ganancias.

La aplicación de los modelos de simulación permite generar aprendizajes que a su vez les permiten a los diferentes actores plantear soluciones con miras a la competitividad. Para mejorar la competitividad de las cadenas productivas en Bolívar, las apuestas deben estar orientadas a:

- realizar cambios tecnológicos que aumenten la productividad de los cultivos y desarrolle el comercio los productos;
- fomentar la creación de programas de transferencia de nuevas tecnologías para el desarrollo de los cultivos;
- diseñar políticas que incentiven la producción agrícola con mayor acompañamiento y asistencia técnica para el mejoramiento de los cultivos;
- fomentar la creación de empresas que se dediquen a la transformación de los productos agrícolas para que jalonen la producción de los mismos;
- desarrollar programas que potencialicen los diferentes cultivos a partir del desarrollo de nuevas variedades para obtener mayores rendimientos por hectárea; y
- plantear proyectos para el mejoramiento de las vías rurales en Bolívar, para lograr mejores niveles de competitividad.

(Amézquita, J. & Chamorro, K. 2013)

4. Referencias

- Amézquita, J. & Chamorro, K. (2013). *Dinámica de sistemas aplicado en el análisis de cadenas productivas agroindustriales en el departamento de Bolívar*. Revista S&T, 11(24), 27-37, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias).
- Andrade, H., Lince, E., Hernández, E., & Monsalve, A. (2011). *Evolución: herramienta software para modelado y simulación con dinámica de sistemas*. Revista de Dinámica de Sistemas, 4(1), 1-27
- Arango, M.D. (1997). *Una Aproximación Metodológica Para El Modelamiento Organizacional Bajo Un Enfoque De Dinámica De Sistemas*. Tesis magistral en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia Facultad de minas, seccional Medellín.
- Bertalanffy, L.V. (1976). *Teoría General De Los Sistemas - Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Fondo de cultura económica. México 1986.
- Bertoglio O. (2004). *Anatomía de la Empresa: Una Teoría General de las Organizaciones Sociales*. Mexico, Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores
- Bertoglio O. J. (2004). *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. México, Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores
- Bonilla M., Cortes M. & Madrigal K. (2010). *Presentación Software Vensim®*
Recuperado de <http://www.slideshare.net/karlamadrigal/presentacin-software-vensim>
- Céspedes J. D., Arboleda C., Morales T. (2010). *Aspectos Determinantes De La Seguridad Alimentaria Para Fincas Tipo En El Municipio De Alcalá. Un Análisis Desde La Dinámica De Sistemas*. Universidad Tecnológica de Pereira, Agosto de 2010.
- Chávez R. (S.F.). *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Mag. Ing, Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Ica, Perú
- Contreras F., Noli A., Peralta G., Sandmann F., Simunic M. (2002). “Teoria de Juegos” Investigación Operativa, Conferencia 2002. Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, Facultad Regional de Mendoza. Recuperado de <http://www1.frm.utn.edu.ar/ioperativa/TJuegos.pdf>

- Dantur, M. (1992). “*Comunicación e información bajo la visión de Norbert Wiener*”. Universidad Complutense de Madrid, Documentación de las Ciencias de la información. Nº 15 - 1992 - Editorial Complutense.
- Fiske, J. (1985). “Teoría de la Comunicación” en *Introducción al estudio de la comunicación*. Editorial Herder. España. Pp. 1-17. Recuperado de: Instituto de Estudios Universitarios.
- Forrester J.W. (2009). *Some Basic Concepts in System Dynamics*. Sloan School of Management. Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- Gulino E., Dottori C., Willis E., Vergara F. (2006). *Análisis De Una Empresa Del Sector Maderero Desde La Dinámica De Sistemas*. Empresa Maderera, Revista de Dinámica de Sistemas Vol. 2 Núm. 2. Septiembre 2006. Universidad de TALCA - Chile.
http://educa2unica.galeon.com/cursos/silabo_diapositiva/introdin.pdf
- Kleiner, A. (2008). *Choque de Jay Forrester en el Sistema*. Artículo extracto de “The Age Of Heretics: A History Of Radical Thinkers Who Reinvented Corporate Management” copyright ©. Todos los derechos reservados. MIT Sloan Management Review. Recuperado de <http://sloanreview.mit.edu/article/jay-forrester-shock-to-the-system/>
- López A., Parada A., Simonetti F. (1995). “*Introducción a la psicología de la comunicación*” Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago. Recuperado de: Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires, Argentina. *Teoría de la Información*.
http://cs.uns.edu.ar/~ldm/data/ss/info/teoria_de_la_informacion2.pdf
- López, B. (2012). *Teoría de Juegos*. Facultad de Economía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Agosto, 2012. Recuperado de
<http://www.economia.unam.mx/profesores/blopez/presjuegos.pdf>
- Meadows, D. (1972). *The Limits To Growth*. A Report for THE CLUB OF ROME’S Project on the Predicament of Mankind. Universe Books New York 1972. Recuperado de <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>
- Morlán, I. (2010). *Modelo de dinámica de sistemas para la implantación de tecnologías de la información en la gestión estratégica universitaria*. Tesis de Doctorado. Universidad del País Vasco, San Sebastián, España.

- Parra, I. (2004). *LOS Modernos Alquimistas- Epistemología corporativa y gestión del conocimiento*. Universidad EAFIT. 2004. Recuperado de <http://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/71/9588173736.pdf?sequence=1>
- Senge, P. (1990). “The Fifth Discipline – the art and practice of the learning organization” 1990 New York, Currency Doubleday. Recuperado de http://www.4grantwriters.com/Peter_Senge_The_Fifth_Discipline_1_1_.pdf
- Senge, P. (2005). “La Quinta Disciplina En La Práctica”. Ediciones Granica S.A.
- Sterman J.D. (2000). *Business dynamics*. Boston, MA: McGraw Hill
- Wiener N. (1948). *Cibernética: o El Control y Comunicación en Animales y Maquinas*. Traducción Editorial Sudamericana Buenos Aires 1988.
- Wiener, Norbert. (1948). *Cibernética: o El Control y Comunicación en Animales y Maquinas*. Febrero 1965 -The Massachusetts Institute of Technology (MIT).

5. Bibliografía

- Cibernética - *La cibernética clásica*. Recuperado de http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml_get_f57c6e57-7a07-11e1-8264-ed15e3c494af/index.html
- *De La Cibernética A La Teoría Del Aprendizaje* (S. F.). Recuperado de <http://etikhe.files.wordpress.com/2012/01/capitulo1.pdf>
- *Dinámica de Sistemas* - Recuperado de <http://www.dinamica-de-sistemas.com/>
- Forrester J.W. (1991). *System Dynamics and the Lessons of 35 Years*. Sloan School of Management. Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- Forrester J.W. (1995). *Counterintuitive Behavior of Social Systems*. Sloan School of Management. Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- Forrester J.W. (S. F.). Biografía de Jay Wright Forrester. Recuperado de <http://dinamicadesistemasudo.blogspot.com/2012/07/biografia-de-jay-wright-forrester.html>
- Introducción a los conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas. Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile FACSO. Recuperado de <http://www.facso.uchile.cl/publicaciones/moebio/03/frprinci.htm>
- Juan Pablo Amador Posadas-Teoría General de Sistemas TGS. Recuperado de http://www.elprisma.com/apuntes/administracion_de_empresas/teoriageneraldesistemas/
- La gestión integrada y la dinámica de sistemas - Recuperado de <http://auditoriamedica.wordpress.com/2009/06/09/la-gestion-integrada-y-la-dinamica-de-sistemas/>
- Martínez E. & Sánchez S (2012). *La teoría general de sistemas*, Universidad de Huelva, España. 2012. Recuperado de <http://www.uhu.es/cine.educacion/didactica/0012sistemas.htm>
- Modelo de Shannon y Weaver - Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=CH8ILNH_XyA
- System Dynamics - Recuperado de <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm>
- TGS - Recuperado de <http://emmanueldaniel.blogspot.com/2007/12/definicion-tgs.html>

- Ventana Systems Inc. (2002) Software Vensim® Recuperado de <http://www.vensim.com>
- Wiener, N. (1958). *Cibernética y sociedad*. Editorial Sudamericana-Buenos aires 1988. Recuperado de [http://www.textosdigitales.com.ar/CS/CICLO_BASIC/2.008 -
_Epistemologia_de_la_Comunicacion/Wiener - Cibernetica y Sociedad.pdf](http://www.textosdigitales.com.ar/CS/CICLO_BASIC/2.008_-_Epistemologia_de_la_Comunicacion/Wiener_-_Cibernetica_y_Sociedad.pdf)