

## 19. INTEGRACIÓN ENTRE LA DINÁMICA DE SISTEMAS Y OTRAS MATEMÁTICAS PARA LA REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

César Augusto Rivera  
Freddy Sarmiento Villamizar  
Hugo Hernando Andrade Sosa<sup>1</sup>

### RESUMEN

La Dinámica de Sistemas (D.S) constituye un lenguaje para la exploración y estudio de gran variedad de situaciones, ese espectro de posibilidades podría verse ampliado significativamente mediante la integración con otros recursos de representación del conocimiento. Trabajos anteriores han demostrado que la unión entre D.S y otras matemáticas puede dar frutos interesantes y útiles; también han permitido vislumbrar la existencia de diversos grados de integración entre éstas ramas del conocimiento. Al aplicar cada uno de estos tipos de integración no sólo se obtienen resultados diferentes, sino que se generan cambios en el proceso mismo de modelado e incluso en las estructuras mentales de quienes construyen e interactúan con el modelo. La exploración de dicha conjunción Dinámico-Sistémica se encuentra actualmente en su etapa inicial, debido a esto el trabajo realizado hasta el momento propone una serie de interrogantes y genera un gran espacio para la investigación.

### ABSTRACT

The system dynamics (SD) constitutes a language for the exploration and study of a great variety of situations, this spectrum of possibilities could be seen extended meaningfully by the integration with others resources for knowledge representation. Previous works had proved that the union between system dynamics and other mathematics can provide interesting and useful results; they also had allowed glimpsing the existence of different grades of integration between this two knowledge branches. When each one of these types of integration is applied, not only different results are obtained, but also they generate changes to the modeling process itself even to the mental structures of those who build and interact with the model. The exploration of this Systemic-Dynamic conjunction between system dynamics and artificial

---

<sup>1</sup> Esta ponencia se presenta en nombre de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por integrantes del Grupo SIMON de Investigaciones en Modelamiento y Simulación, adscrito a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Bucaramanga – Colombia. Mayor información sobre este trabajo y demás labores del grupo SIMON: [handrade@uis.edu.co](mailto:handrade@uis.edu.co), [flagstaad@yahoo.com](mailto:flagstaad@yahoo.com), [sakirion@yahoo.com](mailto:sakirion@yahoo.com), <http://azulejo.uis.edu.co/web/investigacion/grupos/simon/index.html>

intelligence, it's actually in its initial step, because of this the work already done till this moment proposes a series of questions and generates a lot of space for the research.

### INTRODUCCIÓN

En el trabajo del grupo SIMON de Investigaciones: “Modelo conceptual generalizado de un sistema para soportar la toma de decisiones” [Luque y Pradilla 2003] se propone una forma de integrar los esfuerzos de la D.S. y de la Inteligencia Artificial para facilitar la creación de un Soporte a la toma de Decisiones que facilita la representación de los modelos mentales mediante una implementación más cercana al lenguaje natural y como apoyo al tratamiento de la complejidad involucrada en el proceso de decisión. Este no es el único esfuerzo, la integración entre D.S y otros tipos de matemática como la lógica difusa<sup>2</sup> se puede observar a nivel internacional en trabajos como Fuzzy System Dynamics: An approach to vague and qualitative variables in sumulation, [Tessem, Davidsen, 1994] y nacional en el trabajo, “Competencias laborales: Una mirada desde la dinámica de sistemas al caso colombiano de educación – trabajo” [Pérez y Dyner, 2003].

Antes de entrar en materia se deben recordar algunos conceptos que serán usados a lo largo del documento, entre ellos el de lógica difusa y redes neuronales. Debido a los altos niveles de incertidumbre a los que se está expuesto en el proceso de la toma de decisiones se requiere manipular e inferir variables cualitativas difíciles de utilizar en los sistemas de representación cuantitativa, una posibilidad de trabajar sobre ellas la proporciona la Lógica Difusa (L.D), primera área que se adopta en el proyecto mencionado. Fundada hace más de 38 años por Lotfi Zadeh, y de manera sencilla se define: cuando A es un conjunto difuso y x es un objeto relevante, la proposición “x es un miembro de A” no es necesariamente cierta o falsa, como lo requiere la lógica bivaluada, sino que pueden existir grados variables de pertenencia a los mismos, siguiendo patrones de razonamiento similares a los del pensamiento humano.

Un segundo aporte al proceso de modelado y toma de decisiones, es el proporcionado por las redes neuronales (R.N), “un conjunto de redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico” [Kohonen, 1988]. Éstas permiten estimar comportamientos de elementos y relaciones de difícil representación o poca estructuración.

Un Sistema de Inferencia Difuso (FIS por sus siglas en inglés) es una estructura que contiene la formulación necesaria para transformar un vector de entrada en un vector de salida a partir de una serie de reglas de decisión de L.D

---

<sup>2</sup> Referida en la literatura igualmente como Fuzzy Logic, Lógica borrosa o Lógica Fuzzy.

Un ANFIS (Adaptative Neuro Fuzzy Inference System) es un conjunto de técnicas de aprendizaje neuro-adaptativas que son incorporadas a un FIS con el fin de construir las reglas de decisión a partir de un conjunto de datos de entrada y de salida.

En cuanto a la D.S, ésta constituye un lenguaje para el modelado de fenómenos y estudio del comportamiento de los mismos en el tiempo [Andrade y Otros, 2001], aportando de esta forma la proyección a mediano y largo plazo de los posibles resultados a obtener con las acciones elegidas. “La D.S usa conceptos del campo del control realimentado para organizar información en un modelo de simulación por ordenador. Un ordenador ejecuta los papeles de los individuos en el mundo real. La simulación resultante revela implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo” [Forrester, 1998].

### **DINAMICA DE SISTEMAS Y OTRA MATEMÁTICA EN LA REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO**

La D.S, expresión de la diversidad del Pensamiento Sistémico [Andrade y Otros, 2001], en su perspectiva matemática se manifiesta por medio de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales, de las cuales se vale para representar el conocimiento. Al buscar integración entre los útiles matemáticos de la D.S y aquellos correspondientes a otras matemáticas, como es el caso de L.D y las R.N, se llega a una interacción entre elementos que, debido a su diferenciación desde los fundamentos de cada uno, operan con distintos lenguajes formales y procedimientos para el modelado. En este sentido, se puede hablar del surgimiento de nuevas construcciones matemáticas que no corresponden del todo con las ecuaciones diferenciales lineales y no lineales empleadas por la D.S, pero que del mismo modo, no pueden ser asociadas completamente a las herramientas matemáticas de los demás medios para el modelado con que se integra. Esta complejidad que se obtiene, se refleja también en los mecanismos y herramientas necesarias para su construcción y tratamiento posterior, así como para el análisis de los resultados obtenidos.

En cuanto a las “otras matemáticas”, representadas, en el ejemplo que ilustra este trabajo, por la L.D y R.N, se ha preferido emplear esta designación genérica a cambio de términos como “técnicas de Inteligencia Artificial” por cuanto el conjunto de técnicas o alternativas de modelado disponibles por la inteligencia artificial puede resultar poco definido a causa de la falta de unificación en cuanto a los límites del mismo. Adicionalmente, al hablar de “otras matemáticas” se deja abierta la posibilidad de incluir alternativas de representación provenientes de otras áreas de conocimiento, como es la estadística, que se ha encontrado vinculada a la D.S, en lo referente al soporte de datos y definición de parámetros y la teoría de agentes [Montoya, 2004].

### **POSIBILIDADES DE ACERCAMIENTO**

## **II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas**

---

La D.S no es una disciplina aislada de las demás, constantemente recurre a herramientas proporcionadas por diversas áreas del conocimiento, durante el proceso de modelado este hecho se ve reflejado en la puesta a punto del modelo o calibración del mismo que se realiza por medio de la inclusión de los resultados hallados por los expertos en el fenómeno en estudio. En diferentes oportunidades el modelador se ve involucrado directamente en la recopilación de la información que será suministrada al modelo por medio de variables exógenas, variables auxiliares y tablas; es en este momento que el trabajo conjunto con otras disciplinas se aprecia, lo mas común es utilizar la estadística para determinar valores promedios y tasas que se incluirán en el modelo, sin embargo esta inserción no está sujeta sólo a este tipo de elementos, diversos desarrollos se han realizados en los cuales se emplean otras áreas para agregar mayor consistencia al modelo.

Si en la construcción de un modelo de D.S. de la manera tradicional, se trabaja con elementos de la L.D o R.N, por ejemplo, para reemplazar valores en los elementos y reducir así el uso de la prueba y error u otros métodos empíricos en la creación de multiplicadores y relaciones no lineales, así como de variables exógenas, se puede llegar a un nivel de integración ligera que apunta al modelado de elementos de la D.S. o un modelo apoyado por la L. D y las R.N, si se pretende incluir otras áreas se pueden usar distribuciones de probabilidad de la estadística. Pero esencialmente se trabaja aún en un contexto de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales donde valores o conjuntos de valores fueron hallados de manera externa al modelo mediante el uso de diferentes técnicas que proporcionan una mayor fiabilidad de los resultados o una posibilidad de acercamiento. En conclusión, este es un acercamiento de la D.S. a otras matemáticas para la construcción de un modelo que conserva la imagen de un modelo tradicional.

Por el contrario se puede iniciar la construcción del modelo desde otra perspectiva y realizar una mayor integración entre las diversas matemáticas que proporcionan ayuda, en este tipo de construcción algunos elementos del modelo de D.S son reemplazados por funciones (modelo) de otra matemática que se comportan como lo harían al estar usándose de manera independiente, con la diferencia que al estar integrados en el modelo de D.S sus entradas están sujetas a las variaciones de los demás elementos. Este tipo de integración fuerte da como resultado un modelo diferente al común de D.S, puesto que en su creación se incluyen elementos diferentes a las ecuaciones diferenciales lineales y no lineales que definen este tipo de construcción. Para facilitar la denotación del mismo este nuevo modelo será referenciado con el nombre de modelo integrado.

### **EL MODELO APOYADO**

La metodología para la creación de este tipo de modelos no ha sido aún formalizada pero se han realizado varias aproximaciones por los diferentes grupos de trabajo, entre ellas la propuesta del grupo SIMON de Investigaciones [Luque y Pradilla, 2003], el cual se centra en el cómo ayudar a

## II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

un sujeto tomador de decisiones a minimizar o atenuar la influencia de la incertidumbre en la evaluación y toma de decisiones. Para que sea viable aplicar estos lineamientos metodológicos es necesario que el fenómeno a estudiar pueda ser representado como un sistema. Los elementos de incertidumbre son tratados en el modelo mediante variables lingüísticas cuyo significado cualitativo depende del sujeto decisor y conducen a decisiones de tipo cualitativo.

Una situación no estructurada puede ser contemplada como una situación semiestructurada con un elemento adicional de incertidumbre o "ruido" no estructurado. La parte semiestructurada se trabaja con variables lingüísticas y L.D mientras que su componente adicional se aproxima por medio de un FIS. Cuando se presentan situaciones de decisiones no estructuradas, se requiere efectuar una predicción del comportamiento del fenómeno para luego decidir a partir de dicha estimación.

Una vez que se ha identificado la manera de tratar la incertidumbre mediante variables lingüísticas y redes neurodifusas se procede a identificar los ciclos de realimentación y construir un modelo de D.S que incluya los sistemas de tratamiento de la incertidumbre como elementos del modelo.

"Una vez construido el modelo se procede con la identificación dentro del mismo de aquellas situaciones inconexas o imprecisas y que de manera extensiva y general son o representan las situaciones de decisión sobre el modelo." [Luque y Pradilla 2003].

En términos generales el sistema de inferencia recibe información del modelo de D.S, la fuzzifica, la somete a un proceso de inferencia a partir de las reglas formuladas por el sujeto tomador de decisiones para luego realizar el proceso inverso y devolverlas al modelo (defuzzyficación); el modelo recibe la información, y realimenta el subsistema de inferencia difuso, auto ajustándose. Por otro lado, si la situación de decisión involucra la necesidad de predicción y suponiendo la tenencia de conocimiento previo sobre la misma, se procede a la adquisición de dicho conocimiento, normalización de los datos, estructuración de un sistema primigenio de inferencia que en un proceso Neuro-adaptativo generará un nuevo sistema de inferencia que caracteriza de manera aproximada la situación y permite contar con un mecanismo o función de predicción, con base a conocimiento previo. Esto es, implícitamente se hace uso de ANFIS para obtener un sistema de inferencia difuso ajustado y de carácter pronosticador. Este ANFIS genera información para el sistema en el tiempo y complementa o solventa su desconocimiento sobre una realidad exógena pero influyente.

En este tipo de integración el mayor impacto sobre el modelado se ve en la etapa de definición del sistema de ecuaciones, ya que al incluir "otras matemáticas", trabajándolas de manera externa al modelo, es posible llevar a cabo el planteamiento del diagrama de Forrester prácticamente sin cambios, mientras que en las ecuaciones surgen elementos que difieren, en su tratamiento, de aquellos habituales en las ecuaciones diferenciales.

Otro trabajo con el empleo de este tipo de integración, en el ámbito Colombiano [Pérez y Dyner 2003], hace una adaptación de la Teoría de la Presión Lateral, al caso de la oferta-demanda de recurso humano competente dentro del panorama nacional Colombiano. En este trabajo se recurre a la L.D para modelar los criterios de evaluación involucrados en la decisión de determinar, de un grupo de personas, los individuos que únicamente requieren una certificación y aquellos que deben reforzar sus competencias, esto frente a las exigencias de recurso humano calificado del sector productivo y a la oferta del sector educativo.

### EJEMPLO DE MODELO APOYADO

A continuación se presenta un sencillo modelo [Luque, Pradilla. 2003] de inventarios y demanda, basado en el documento D-4388 de "Roadmaps" [MIT 1993], que muestra de que manera se ve afectado el inventario con base a la demanda del mercado y a las importaciones, y el comportamiento de la Tasa Representativa del Mercado del dólar (Figura 1).

El modelo fue creado partiendo de la información general del fenómeno y sus valores calibrados con los datos proporcionados por un distribuidor local (Bucaramanga) de productos para motocicletas, las relaciones no lineales fueron determinadas a partir de un bosquejo básico definido de manera directa por el modelador y sus valores finales definidos con el sistema de "prueba y repite" [Requena 1986], los datos de la TRM fueron extraídos de una entidad financiera, el comportamiento de los resultados de simulación corresponden con la información recopilada por la empresa.

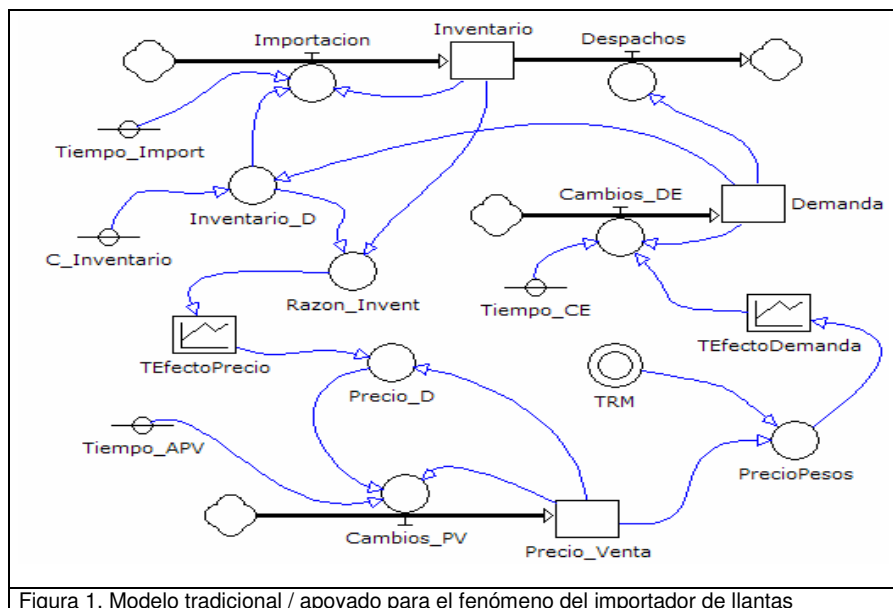


Figura 1. Modelo tradicional / apoyado para el fenómeno del importador de llantas

## II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

Posteriormente, se definió la variable exógena TRM obteniendo sus valores mediante un ANFIS que permite hacer una predicción del comportamiento que presenta este indicador económico y mediante dos FIS se obtuvieron todos los posibles valores de dos tablas que indican los efectos sobre el precio deseado y sobre la cantidad de productos demandados por los compradores (Figura 1).

Tanto el ANFIS como los FIS son creados de manera externa al modelo utilizando los Toolbox de MatLab, y de manera posterior, se incluye la información proporcionada por los mismos directamente sobre las variables representadas previamente en el modelo, sin realizar ningún tipo de cambio sobre el mismo (Figura 1). Por tanto la variación en los comportamientos es muy pequeña con relación al modelo tradicional, ya que la estructura misma del modelo no es afectada, sólo los valores de unas cuantas variables que se ven atenuadas por los ciclos de realimentación negativa del mismo modelo. Se alcanza una mayor suavidad en las curvas y se elimina la necesidad de la “prueba y repite” para la construcción de las tablas.

Los comportamientos obtenidos para el inventario, de manera previa a la utilización de L.D y R.N, se apreciar en la Figura 2.

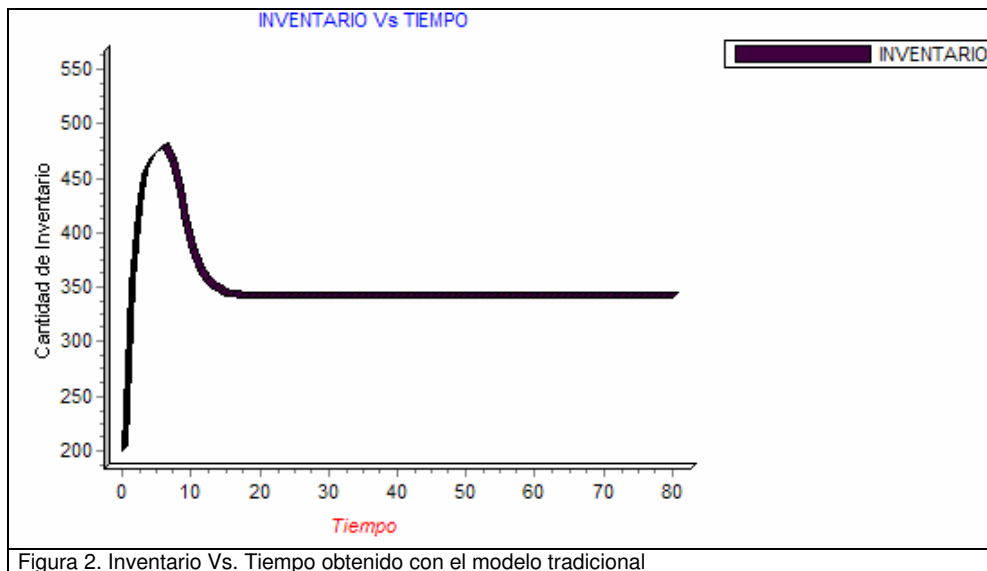
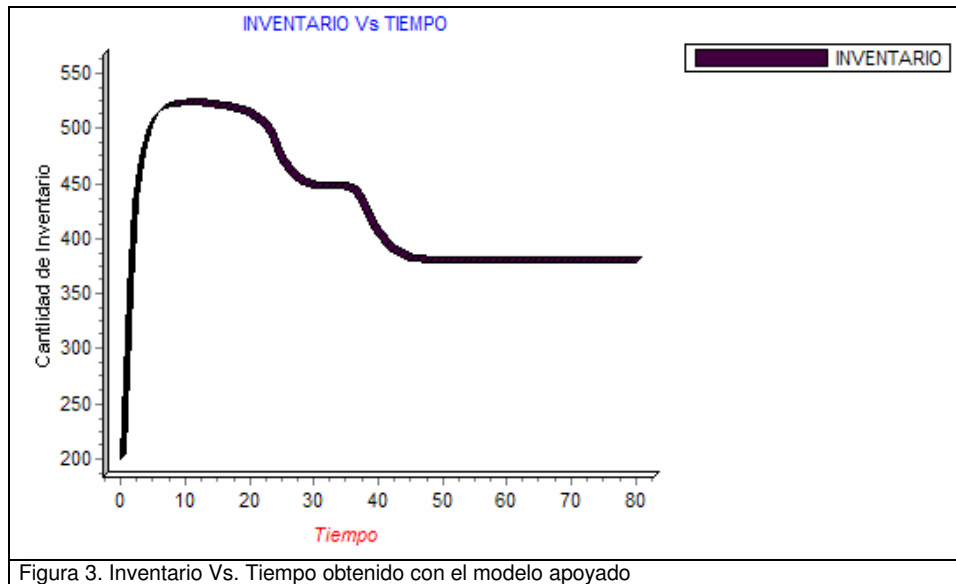


Figura 2. Inventario Vs. Tiempo obtenido con el modelo tradicional

Una vez construido el modelo apoyado, incorporando los elementos de L.D y R.N, se observan cambios en el comportamiento de diversas variables. Como punto de referencia o de comparación se presenta la gráfica del comportamiento de los inventarios (Figura 3).



Se aprecia una variación en la cantidad y tiempo en el que se estabiliza el comportamiento del inventario, y surgen cambios en las pendientes de las gráficas correspondientes. La evaluación más detallada de estos cambios de comportamiento general concluye que el modelo apoyado representa un acercamiento más aceptable al observado en el fenómeno.

### MODELO INTEGRADO

La otra opción de integración entre D.S y “otras matemáticas”, es la integración fuerte, mediante la construcción de modelos integrados. En la elaboración de modelos bajo esta perspectiva, los elementos de proveniencia diferente a las ecuaciones diferenciales propias del modelado de D.S., mantienen su representación original, es decir, mantienen el carácter propio de sus fundamentos matemáticos mientras que se involucran de manera directa en el modelo. En este caso, aquellos aspectos de la situación de estudio que han sido tratados por “otras matemáticas”, pueden ser vistos como sub-modelos cuya ejecución en tiempo de simulación da paso a la interacción de sus construcciones con aquellas de D.S. De esta forma, el modelo obtenido, no corresponde del todo con un modelo de D.S, y de la misma manera, tampoco se puede asociar por completo a un modelo de cualquiera de las otras áreas de conocimiento involucradas en su construcción.

El desarrollo de este tipo de modelos se lleva a cabo seleccionando de manera previa a la construcción del diagrama de flujo-nivel, los elementos que serán representados por la L.D (u otra matemática según sea el caso), cuáles son las variables que la afectan y las que se verán afectadas por la misma. Posteriormente se seleccionan las funciones de pertenencia que determinan los niveles de las entradas convirtiendo los valores cuantitativos de entrada en

información cualitativa, mas cercana a la percibida por una persona u organización, estas son evaluadas por una serie de reglas proporcionadas por los expertos en el fenómeno y luego, por medio de un sistema defuzificador, son regresados al modelo como un valor numérico que es usado por el mismo, todo esto en tiempo de simulación. En el caso aquí presentado se aprovechan las posibilidades del software de apoyo al modelado Evolución 3.5 [Cuellar y Lince 2003] para usar librerías dll.

De esta manera, es posible adaptar el modelo de importación de llantas aquí [Luque y Pradilla 2003] para convertirlo en un modelo integrado. Para este caso se muestra el modelo con la inclusión de los FIS, en tiempo de ejecución. Para ello, se hizo uso de la herramienta software UNFUZZY [Duarte 1998], por medio de la cual se consiguió la definición y exportación, a modo de .dll, del sistema de inferencia. Una vez disponible como dll se procedió a la inclusión correspondiente dentro del modelo, a través de la opción “Agregar Funciones” de Evolución (Figura 4).

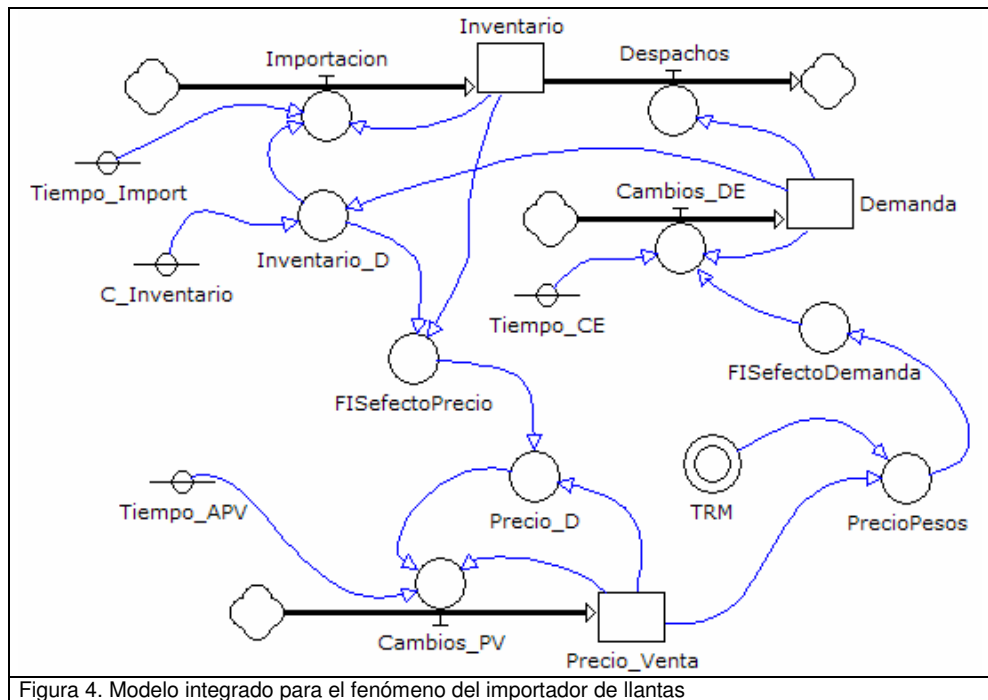


Figura 4. Modelo integrado para el fenómeno del importador de llantas

En este diagrama de flujo nivel (Figura 4) se aprecia la aparición de las variables auxiliares TEfectoPrecio y TEfectoDemanda que contienen los FIS importados e integrados al modelo que reemplazan a las relaciones no lineales del mismo nombre. Debido al ilimitado número de variables de entrada y salida que puede admitir un FIS, no es necesario recurrir a la razón entre inventario e inventario deseado (Razon\_Inv) que se usó en el modelo anterior (Figura 1).

Los comportamientos obtenidos con el nuevo modelo integrado están más cercanos a los presentados por la integración de apoyo al modelado, debido a

que el comportamiento de los FIS se asemeja a la representación externa obtenida mediante tablas anteriormente.

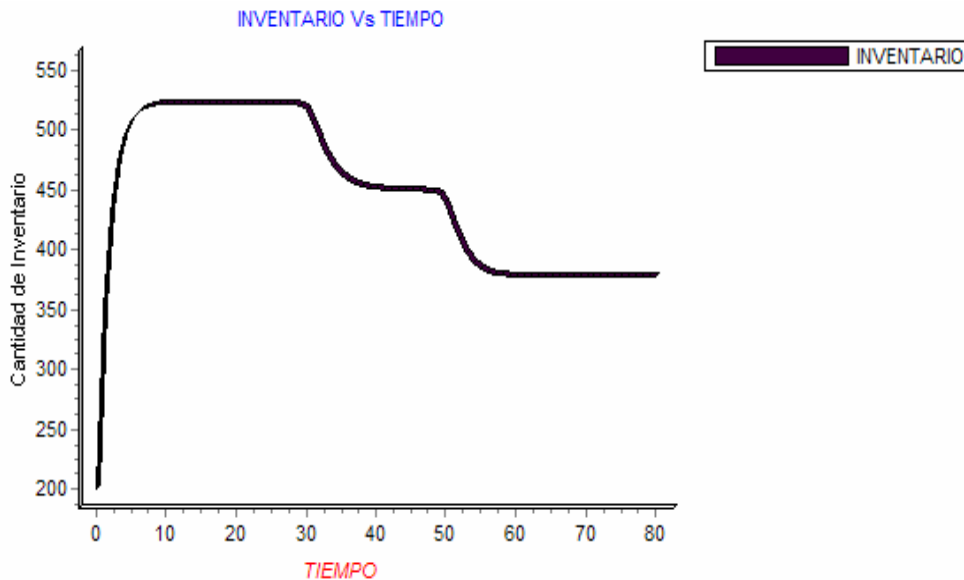


Figura 5. Inventario Vs. Tiempo obtenido con el modelo integrado

### ENTRE EL MODELO APOYADO Y EL MODELO INTEGRADO

La ventaja que presenta la representación con modelos apoyados, es que la variación con respecto al modelado tradicional es muy pequeña y presenta resultados similares. Esto se debe a que con este medio de inclusión de “otras matemáticas” en los modelos de D.S, no se cambia la esencia que define las relaciones no lineales, los multiplicadores ni las variables externas; lo que se consigue es una robustez o fortalecimiento del proceso de elaboración y definición de los mismos. Además, se agrega el elemento de la predicción por medio del uso de R.N de manera externa al modelo, cuya información se agrega al mismo. De esta manera aparece la posibilidad de incluir estudios realizados por expertos en otras disciplinas diferentes a la D.S. sobre el fenómeno que se estudia. En consecuencia, el apoyo obtenido de “otras matemáticas” amplía la posibilidad de representación de fenómenos con D.S.

Mientras que el impacto de la alternativa integradora “ligera” se aprecia, principalmente en la etapa de definición de variables, por cuenta de su apoyo a la definición y construcción de elementos del modelo; en el caso de la integración fuerte, que extiende su participación al tiempo de simulación, el impacto obtenido sobre el proceso de modelado, contempla no sólo la definición de ecuaciones y de elementos, sino que afecta también al comportamiento mismo del modelo y por consiguiente, al análisis de resultados. En este tipo de integración se tiene más flexibilidad en el sentido de las entradas y salidas de cada sub-modelo.

## **II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas**

---

Cada una de las dos alternativas integradoras aquí esbozadas posee sus propias características, facilidades, requerimientos y posibilidades. Por ejemplo, en el caso de la construcción de FIS; si la integración es ligera, debe hacerse un paso intermedio que consiste en la construcción de una tabla que contiene los resultados del sistema de inferencia para un número significativo de entradas, lo que implica la definición de rangos y discretización de las variables tanto de entrada como de salida, operación que aumenta en dificultad a medida que crece el número de parámetros y respuestas del sistema de inferencia. Por otra parte, si se recurre a la integración fuerte, el paso intermedio comentado anteriormente, es innecesario debido a que este se encuentra preparado para procesar cualquier entrada de manera directa; esta facilidad se ve contrarrestada por las mayores exigencias de conocimiento y aumento de la complejidad en la representación del fenómeno, ante las que se enfrenta el modelador. La integración débil es viable cuando se requiera mantener la sencillez sobre el proceso de modelado, cuando sea factible la representación aproximada de los resultados obtenidos por las "otras matemáticas" mediante tablas o expresiones correspondientes a las ecuaciones diferenciales tradicionales. Y de manera análoga, se considera adecuado el uso de integración fuerte, cuando la respuesta que se busca en los sub-sistemas modelados con "otras matemáticas" exija flexibilidad de los mismos ante un buen número de entradas y escenarios posibles.

Es importante anotar que no siempre es posible llevar a cabo la construcción de modelos con cada una de las tres posibilidades (modelo tradicional, apoyado, integrado). Se presentan situaciones en las que se posee un gran número de variables a ser relacionadas y no se dispone de una expresión analítica que los relacione adecuadamente; en estos casos, debido a los mismos fundamentos de la D.S., soportados en ecuaciones diferenciales, resulta prácticamente imposible recurrir a la metodología tradicional o al modelo apoyado ya que de lograrse una representación por medio de tablas del comportamiento de una determinada entidad dentro del modelo, esta "captura" podría verse supeditada a un escenario particular, al tiempo que dejaría de ser lo suficientemente descriptiva, comprensible y útil, como sí lo puede ser una representación adecuada mediante otra matemática de diferente naturaleza a las ecuaciones diferenciales, lo que amplía el espectro de representación manejable por la D.S.

Por supuesto, la visión que se ha conseguido hasta el momento, respecto a la aplicabilidad de cada alternativa integradora, se encuentra aún en un estado primario como consecuencia de la relativa novedad que presentan estos conceptos. Esto lleva a que existan muchos interrogantes sobre múltiples aspectos de la integración entre D.S y "otras matemáticas".

### **INTERROGANTES Y CONCLUSIONES**

Esta innovación, en concordancia con muchas otras, da lugar a una serie de preguntas, las cuales deben resolverse con el propósito de determinar los alcances, el impacto y la utilidad de los enfoques integradores, además, de

## II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas

facilitar un proceso de transición que le dé acogida, entre más información se le brinde a los futuros modeladores o usuarios de la integración, se encontrará más disposición de los mismos para aceptarla y emplearla.

Es difícil asignar la paternidad de la integración a cualquiera de las áreas de conocimiento involucradas en el proceso, se podría afirmar que se está realizando una integración entre D.S y otras matemáticas, puesto que se parte del proceso para generar un modelo de la misma, pero se debe recordar que este proceso guarda muchas similitudes con la construcción de modelos matemáticos en general; se afirma entonces, que la mayor parte del trabajo sigue siendo una manipulación de ecuaciones diferenciales lineales y no Lineales, se objetar que al verse desde la otra perspectiva sería un trabajo de la matemática de apoyo por la matemática de la D.S., es por tanto complejo aún seleccionar una “paternidad” para los modelos así surgidos y un título que lo identifique sin eliminar posibilidades.

Cada uno de los diferentes enfoques integradores posee características propias que lo hacen rico y complejo al momento de definirlo y llevarlo a cabo, lo cual implica darle amplio tratamiento y estudio de manera casi exclusiva. Esto, como es de esperarse, supone una amplia investigación tanto para la construcción del enfoque integrador, como para la exploración de sus implicaciones en el proceso de modelado, siendo esta una de las principales razones para que, en este momento, exista incertidumbre e interrogantes acerca de las posibilidades que podría ofrecer cada una de la alternativas integradoras.

Debido a la posibilidad de llevar a cabo la integración entre D.S y “otras matemáticas” desde varios enfoques y grados de integración, y como consecuencia de las ventajas y fortalezas de unas y otras para diversos tipos de fenómenos, surge el interrogante sobre qué tipos de situaciones son susceptibles de ser tratadas por cada una de las alternativas integradoras, cuáles resultarían exclusivas para cada opción integradora, y del mismo modo, cuándo es posible tratar una situación de diversas maneras, debe poderse determinar cuál es la más indicada en función de las necesidades del cliente y el propósito del modelo.

Partiendo de un proceso de modelado estructurado y adecuadamente documentado como lo es el proceso de modelado de D.S, se nota la necesidad de mantener un metodología claramente definida al momento de crear la integración de manera que se disponga de estrategias y medios para facilitar la comprensión por parte del cliente, de su papel dentro del modelado y para ofrecer claridad al momento de presentar los resultados de dicho proceso, también para mantener la continuidad con trabajos anteriores e incluso la reutilización de elementos propios del prototipado evolutivo el cual es característico en la creación de modelos.

Cada una de las alternativas integradoras aborda las situaciones de diferentes maneras y con diversos útiles para la representación, con lo cual también varían las construcciones matemáticas que le dan soporte. Esto lleva a

plantear un interrogante sobre las herramientas software para apoyo al proceso de modelado que serían necesarias en cada caso, ya que dependiendo del grado de integración, podrían surgir desde nuevos componentes en los modelos a simular hasta procedimientos y mecanismos para llevar a cabo las corridas, lo que implicaría la necesidad de nuevos elementos para la representación de los tipos de variables que puedan surgir y facilidades para exportar los resultados obtenidos a través de herramientas ya existentes o nuevas para su posterior importación a otras herramientas que continúen con el apoyo al proceso de modelado. Del mismo modo, la posterior ayuda en el análisis de los resultados podría demandar otro tipo de herramientas.

La D.S ofrece un medio para formalizar los conceptos introducidos por el pensamiento dinámico-sistémico en lo referente a la interpretación y caracterización de modelos mentales a partir de fenómenos. Permite mediante un lenguaje de representación y a través de unos útiles matemáticos representados gráficamente, plasmar de manera explícita los modelos mentales que poseen uno o varios sujetos acerca de un fenómeno en particular. Al presentarse nuevas opciones para llevar a cabo el modelado, tanto el modelador como el cliente deben enfrentar tareas que, dependiendo de su complejidad derivada del enfoque integrador adoptado, constituyen retos en la construcción del modelo. Hasta que los dos tipos de integraciones se impongan o se consiga un consenso metodológico adoptado por una significativa porción de la comunidad que trabaja con D.S, no se podrá apreciar cuál ha sido el cambio en los procesos mentales tanto de modeladores como de clientes y usuarios.

### REFERENCIAS

Andrade, Hugo Hernando; Dyner, Isaac; Espinosa, Angela; López, Hernán y Sotaquirá, Ricardo. "Pensamiento Sistémico: Diversidad en búsqueda de Unidad", Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2001.

Cuellar, Mario; Lince, Emiliano. Proyecto de grado: EVOLUCIÓN 3.5: Herramienta Software para el Modelamiento y Simulación en Dinámica de Sistemas, Universidad Industrial de Santander. 2003.

Duarte Velasco, Óscar Germán. "UNFUZZY 1.2: Herramienta de Software para el Análisis, Diseño, Simulación e Implementación de Sistemas de Lógica Difusa". Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (1998). Información disponible en: <http://www.ing.unal.edu.co/~electronica/Proyectos/Proyecto5.html>

Forrester, Jay. Road Maps. Curso de Autoaprendizaje de Dinámica de Sistemas. Massachusetts Institute of Technology (MIT). 1998

Kohonen, T. "An Introduction to neural computing". Neural Networks, Vol 1, 1988, pags 3-16

## **II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas**

---

Luque, Guillermo; Pradilla, Vladimir. Proyecto de grado: Modelo Conceptual Generalizado de un Sistema para Soportar La Toma de Decisiones, Enfoque integrador entre la Dinámica de Sistemas y la Inteligencia Artificial, Universidad Industrial de Santander. 2003.

Montoya, Francisco. Modelo de expansión del consumo de gas natural por red, basado en Dinámica de Sistemas y Agentes Inteligentes. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. 2004.

Road Maps D-4388. Recolección de apuntes supervisada por Jay W. Forrester. MIT, Cambridge, 1993.

Pérez Patiño, Ana Lucía; Dyner Resonzew, Isaac. "Competencias Laborales: Una Mirada Desde la Dinámica de Sistemas al Caso Colombiano Educación-Trabajo. Universidad de San Buenaventura – Sede Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín". Medellín, Colombia, 2003.

Requena, Alberto; Martínez, Silvio. Dinámica de Sistemas. Alianza Editorial, Madrid, 1986.

Tessem, Bjornar; Davidsen, Pal. Fuzzy System Dynamics: An approach to vague and qualitative variables in simulation. System Dynamics Review. Vol 10. no. 1 Spring 1994. Pag 49-62.